



TUGAS AKHIR TF 141581

**PENINGKATAN ATENUASI PENGHALANG BISING
DALAM MENGENDALIKAN KEBISINGAN
AKIBAT LALU LINTAS
DI SEKOLAH DASAR NEGERI
SIWALANKERTO I SURABAYA
MENGUNAKAN METODE SIMULASI 2 DIMENSI**

**REVA GIRINDRA ARIYADI
NRP. 2412 100 021**

**Dosen Pembimbing
Ir. Wiratno Argo Asmoro, M.Sc.**

**JURUSAN TEKNIK FISIKA
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2016**



FINAL PROJECT TF 141581

**INCREASING THE ATTENUATION
OF NOISE BARRIER
TO REDUCE TRAFFIC NOISE
IN URBAN CITY ELEMENTARY SCHOOL
USING 2 DIMENSION SIMULATION METHOD**

**REVA GIRINDRA ARIYADI
NRP. 2412 100 021**

**Supervisor
Ir. Wiratno Argo Asmoro, M.Sc.**

**DEPARTEMENT OF ENGINEERING PHYSICS
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2016**

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Reva Girindra Ariyadi

NRP : 2412 100 021

Jurusan : Teknik Fisika FTI ITS

Dengan ini menyatakan bahwa tugas akhir saya berjudul **“Peningkatan Atenuasi Penghalang Bising dalam Mengendalikan Kebisingan Akibat Lalu Lintas di Sekolah Dasar Negeri Siwalankerto I Surabaya Menggunakan Metode Simulasi 2 Dimensi”** adalah bebas dari plagiasi. Apabila pernyataan ini terbukti tidak benar, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Surabaya, 3 Agustus 2016
Yang membuat pernyataan,



Reva Girindra Ariyadi
NRP. 2412 100 021

**PENINGKATAN ATENUASI PENGHALANG BISING
DALAM MENGENDALIKAN KEBISINGAN
AKIBAT LALU LINTAS DI SEKOLAH DASAR
NEGERI SIWALANKERTO I SURABAYA
MENGUNAKAN METODE SIMULASI 2 DIMENSI**

TUGAS AKHIR

Oleh:

**REVA GIRINDRA ARIYADI
NRP. 2412 100 021**

**Surabaya, 3 Agustus 2016
Mengetahui/Menyetujui**

Dosen Pembimbing,



**Ir. Wiratno Argo Asmoro, M.Sc.
NIP. 19600209 198701 1 001**

Ketua Jurusan

Teknik Fisika FTI ITS,



**Agus Muhammad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D.
NIP. 19780902 200312 1 002**

**PENINGKATAN ATENUASI PENGHALANG BISING
DALAM MENGENDALIKAN KEBISINGAN
AKIBAT LALU LINTAS DI SEKOLAH DASAR
NEGERI SIWALANKERTO I SURABAYA
MENGUNAKAN METODE SIMULASI 2 DIMENSI**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Rekayasa Akustik dan Fisika Bangunan
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember


Oleh:

REVA GIRINDRA ARIYADI


NRP. 2412 100 021

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

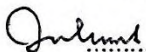
1. Ir. Wiratno Argo Asmoro, M.Sc.

.....(Pembimbing)

2. Dr. Dhany Arifianto, S.T., M.Eng.

..... (Penguji I)

3. Ir. Zulkifli, M.Sc.

..... (Penguji II)

**SURABAYA
AGUSTUS, 2016**

PENINGKATAN ATENUASI PENGHALANG BISING DALAM MENGENDALIKAN KEBISINGAN AKIBAT LALU LINTAS DI SEKOLAH DASAR NEGERI SIWALANKERTO I SURABAYA MENGGUNAKAN METODE SIMULASI 2 DIMENSI

Nama Mahasiswa : Reva Girindra Ariyadi
NRP : 2412 100 021
Jurusan : S-1 Teknik Fisika FTI ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Wiratno Argo Asmoro, M.Sc.

Abstrak

Sekolah di daerah perkotaan menjadi lingkungan yang rawan terhadap polusi kebisingan, terutama bagi anak-anak. Kebisingan pada umumnya diatasi dengan merancang semacam tembok sebagai penghalang bising (noise barrier). Perancangan penghalang bising umumnya menggunakan perhitungan Maekawa yang dapat menentukan ketinggian barrier untuk mereduksi sejumlah kebisingan yang diperlukan. Namun, kasus ini menjadi semakin rumit di wilayah perkotaan padat penduduk, dimana lahan yang tersedia sangat terbatas dan tembok penghalang akan mendominasi pandangan. Untuk merancang sebuah noise barrier dengan situasi yang kompleks seperti itu, diperlukan metode lain yang dapat memberikan kebebasan ketika melakukan perancangan, sehingga tidak terbatas oleh penentuan ketinggian barrier saja. Metode perancangan lain yang digunakan pada penelitian ini adalah melalui simulasi 2 dimensi (2D). Kasus kebisingan diambil di wilayah Jalan Ahmad Yani Kota Surabaya, tepatnya di Sekolah Dasar Negeri Siwalankerto I. Sekolah berlantai 2 ini berada tepat di depan jalan raya dengan jarak kurang dari 10 meter. Hasil pengukuran menunjukkan tingkat kebisingan siang-malam (L_{sm}) yang tinggi di dalam kelas lantai bawah sebesar 68,09 dBA dan lantai atas sebesar 68,62 dBA. Kedua nilai tersebut tidak memenuhi standar baku kebisingan sebesar 55 dBA sesuai Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No.48/MENLH/11/1996. Dengan Metode Maekawa, diperoleh desain penghalang bising setinggi 2,2 meter dengan nilai total atenuasi penghalang rata-rata sebesar 18 dB

pada frekuensi 1000 Hz. Nilai atenuasi sebesar itu cukup untuk menekan kebisingan di dalam kelas hingga 50,49 dBA untuk lantai bawah dan 49,98 dBA untuk lantai atas. Metode yang digunakan selanjutnya adalah simulasi 2 dimensi, yang mana diharapkan dapat membuktikan adanya peningkatan atenuasi penghalang dengan penambahan/modifikasi geometri pada desain. Modifikasi yang dilakukan berupa tembok penghalang depan dengan ketinggian yang lebih rendah setinggi 1,8 meter dan penambahan screen pada bagian fasad bangunan. Hasil modifikasi terbaik dapat mencapai nilai atenuasi penghalang hingga 10,28 dB. Hasil simulasi 2D menunjukkan bahwa penambahan screen pada fasad dapat meningkatkan atenuasi penghalang hingga 2,81 dB. Penggunaan geometri shelter juga terbukti memberikan atenuasi penghalang yang lebih besar daripada penghalang biasa dengan nilai atenuasi hingga 9,98 dB. Metode simulasi 2D terbukti dapat memberikan kebebasan dalam perancangan noise barrier dan memperkirakan jumlah reduksi kebisingan yang diperlukan.

Kata kunci: kebisingan lalu lintas, peningkatan atenuasi penghalang, simulasi 2D penghalang bising, COMSOL Multiphysics 4.4.

INCREASING THE ATTENUATION OF NOISE BARRIER TO REDUCE TRAFFIC NOISE IN URBAN CITY ELEMENTARY SCHOOL USING 2 DIMENSION SIMULATION METHOD

Name : Reva Girindra Ariyadi
NRP : 2412100021
Departement : Engineering Physics
Supervisor : Ir. Wiratno Argo Asmoro, M.Sc.

Abstract

Traffic noise is one of the biggest pollution in urban city. This kind of pollution can be harmful to health and bring out serious psychological disorders. Urban schools are vulnerable victims to this kind of pollution, especially for children as the occupant. Traffic noise can be a serious problem for them, disturbing their development periods in school. Reducing traffic noise commonly done by building a noise barrier, a kind of wall to block the noise from the outside. Designing a noise barrier usually calculated using the Maekawa method, that can determine the height of barrier we need to reduce the amount of noise required. But, in urban city, this case is getting harder because of the limited available space, so that the noise barrier will visually dominate. To design a barrier in such complex situation, we need a method that can free us when designing and not limited only in determining the height of barrier. The method is by designing a noise barrier in 2 Dimension (2D) Simulation. With this method, we can design every possibility to reduce noise that we need. The study case taken at Jalan Ahmad Yani Surabaya, precisely at SDN Siwalankerto I School. This school located right in front of the main street with less than 10 meter in distance. The noise measurement shows that the day-night loudness (L_{DN}) in the classroom is 68,4 dBA. That loudness value didn't meet the 55 dBA requirement from the government's environmental standard. The Maekawa's design with 2,2 meters barrier height resulting 18 dB attenuation at 1000 Hz. That result enough to press down the noise in the classroom up to 50,49 dBA for the first floor and 49,98 dBA for the second floor. The modified design from the 2D simulation

method is a front barrier with height of 1,8 m with addition of face screens. The best design resulting total barrier attenuation up to 10,28 dB. The 2D simulation also shows that face screens increases the attenuation of barrier design up to 2,81 dB. The shelter design also resulting a better attenuation up to 9,98 dB, bigger than a usual barrier design. The 2D simulation method proved to give freedom in designing noise barrier and estimating the barrier attenuation result.

Keyword: traffic noise, increasing barrier attenuation, noise barrier 2D simulation, COMSOL Multiphysics 4.4.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji syukur kehadiran Allah SWT atas rahmat serta pertolongan-Nya dan sholawat serta salam kepada Baginda Nabi Besar Sayyidina Muhammad SAW sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **“Peningkatan Atenuasi Penghalang Bising Dalam Mengendalikan Kebisingan Akibat Lalu Lintas di Sekolah Dasar Negeri Siwalankerto I Surabaya Menggunakan Metode Simulasi 2 Dimensi”**.

Halaman kata pengantar ini saya dedikasikan untuk berterima kasih kepada seluruh pihak yang telah membantu terselesaikannya Tugas Akhir ini. Ucapan terima kasih secara khusus saya berikan kepada:

1. Ibu, ayah, guru, paman, adik, teman-teman GSM Production, beserta seluruh keluarga saya atas segala dukungan materiil maupun moral dan doa yang telah ditujukan kepada saya.
2. Bapak Agus Muhamad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Fisika ITS.
3. Bapak Ir. Wiratno Argo Asmoro, M.Sc. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan banyak ilmu, petunjuk yang sangat bermanfaat, dan bimbingan yang sabar selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Dr. Dhany Arifianto, S.T., M.Eng. selaku Ketua Laboratorium Bidang Minat Vibrasi dan Akustik (Vibrastic Lab) yang telah mendidik dengan sangat baik.
5. Kepala Sekolah beserta seluruh jajaran guru dan pegawai di SDN Siwalankerto I Kota Surabaya yang telah memberikan ijin penelitian serta sambutan yang sangat baik.
6. Seluruh Member Laboratorium Vibrastic, Warga TF, dan teman-teman F47 Teknik Fisika ITS yang telah

memberi banyak hal berharga selama menjalankan perkuliahan di Teknik Fisika.

7. Dan semua pihak yang telah mendukung dan memberikan doa yang tidak bisa disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa penulisan laporan Tugas Akhir ini tidaklah sempurna. Oleh karena itu, sangat diharapkan kritik dan saran yang membangun sehingga mencapai sesuatu yang lebih baik lagi. Penulis juga berharap semoga laporan ini dapat menambah wawasan yang bermanfaat bagi pembacanya.

Surabaya, 3 Agustus 2016

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI.....	v
LEMBAR PENGESAHAN.....	vii
ABSTRAK.....	xi
ABSTRACT	xiii
KATA PENGANTAR.....	xv
DAFTAR ISI	xvii
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL.....	xxiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Permasalahan	4
1.3 Tujuan	4
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Manfaat Penelitian	5
BAB II DASAR TEORI.....	7
2.1 Kebisingan	7
2.2 Penghalang Bising (<i>Noise Barrier</i>).....	12
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	29
3.1 Objek Pengukuran dan Titik Pengukuran.....	32
3.2 Pengambilan dan Pengolahan Data	38
3.3 Tahap Perancangan <i>Noise Barrier</i>	40
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	43
4.1 Analisis Data.....	43

4.1.1 Data Pengukuran Bising Lingkungan	44
4.1.2 Perancangan <i>Noise Barrier</i> Menggunakan Metode Maekawa	50
4.1.3 Perancangan <i>Noise Barrier</i> Menggunakan Metode Simulasi 2D.....	60
4.2 Pembahasan.....	78
BAB V PENUTUP	85
5.1 Kesimpulan	85
5.1 Saran	86
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 <i>Shadow Zone</i> Akibat Penghalang Bising	12
Gambar 2.2 <i>Noise Barrier Single Screen</i>	12
Gambar 2.3 <i>Noise Barrier Double Screen</i>	13
Gambar 2.4 Grafik <i>Fresnel Number</i>	15
Gambar 2.5 Grafik <i>Barrier Attenuation</i> terhadap <i>Fresnel Number</i> pada Frekuensi 550 Hz.....	17
Gambar 2.6 Proses <i>Meshing</i> pada Software BEM.....	18
Gambar 2.7 Ilustrasi Bunyi yang Menabrak <i>Noise Barrier</i> ..	21
Gambar 2.8 Contoh Kasus Refleksi pada <i>Barrier</i> yang Merugikan	22
Gambar 2.9 Ilustrasi Bising yang Menabrak <i>Cross Section</i> dari <i>Barrier</i>	22
Gambar 2.10 Ilustrasi Bising yang Menabrak <i>Top Edge Barrier</i>	23
Gambar 2.11 Penelitian tentang Nilai IL terhadap berbagai Desain <i>Noise Barrier</i>	24
Gambar 2.12 Ilustrasi dari Penelitian mengenai Pengaruh Geometri <i>Cross Section</i> terhadap Nilai IL	24
Gambar 2.13 Sebuah Ilustrasi bagaimana <i>Barrier</i> Bentuk T Bekerja	25
Gambar 2.14 Ilustrasi Hubungan Jarak terhadap Dominansi Visual dari <i>Barrier</i>	26
Gambar 2.15 Contoh <i>Noise Barrier</i> yang Serasi dengan Lingkungan Sekitarnya	27
Gambar 2.16 Contoh Penggunaan <i>Barrier</i> Transparan.....	28
Gambar 2.17 Contoh Aplikasi Bersama Vegetasi dengan <i>Barrier (Vegetated Barrier)</i>	28
Gambar 2.18 Pola Keterarahan Hasil Difusi Suara oleh Vegetasi.....	29
Gambar 2.19 Pengujian Vegetasi Jenis Semak sebagai Komponen Difusi dan Absorpsi Suara	30
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	31

Gambar 3.2 Denah Tampak Atas SDN Siwalankerto I Surabaya.....	34
Gambar 3.3 Lokasi Pengukuran dilihat dari <i>Google Map</i> (ditunjukkan oleh tanda merah) dengan Koordinat Garis Lintang -7.336350 dan Garis Bujur 112.729851	35
Gambar 3.4 Batasan Wilayah Tinjauan dalam Penelitian (ditunjukkan oleh garis kuning)	35
Gambar 3.5 Posisi Titik Ukur 1	36
Gambar 3.6 Posisi Titik Ukur 2	36
Gambar 3.7 Posisi Titik Ukur 3	37
Gambar 3.8 Posisi Titik Ukur 4	37
Gambar 3.9 Posisi Titik Ukur 5	38
Gambar 3.10 Posisi Kelima Titik Ukur	38
Gambar 3.11 Skema Alat Pengambilan Data	40
Gambar 4.1 Grafik Leq pada 5 Titik Ukur	47
Gambar 4.2 Grafik Lsm di Kelas (dBA)	48
Gambar 4.3 Grafik Lsm di Kelas (dB)	49
Gambar 4.4 Denah Tampak Samping ketika Sekolah Dipasang Penghalang Bising	51
Gambar 4.5 Desain <i>Single Screen Barrier</i>	51
Gambar 4.6 Dinding Kelas sebagai Partisi yang Memiliki Nilai <i>Noise Reduction</i> (NR)	53
Gambar 4.7 Desain <i>Double Screen Barrier</i>	56
Gambar 4.8 Desain Balkon Lantai Atas sebagai <i>Single Screen Barrier</i>	57
Gambar 4.9 Grafik Kebisingan Sumber dalam dB	60
Gambar 4.10 Plot Kebisingan Sekolah Sebelum Dipasang <i>Barrier</i>	62
Gambar 4.11 Plot Kebisingan Kelas Sebelum Dipasang <i>Barrier</i>	63
Gambar 4.12 <i>Trendline</i> Kebisingan di Dalam Kelas Lantai Bawah	63
Gambar 4.13 <i>Trendline</i> Kebisingan di Dalam Kelas Lantai Atas	64

Gambar 4.14 Skema Evaluasi Nilai Kebisingan dari Plot Hasil Simulasi	66
Gambar 4.15 Plot Kebisingan Sekolah dengan <i>Screen</i> Menutupi Sepertiga Tinggi Bingkai Jendela	68
Gambar 4.16 Plot Kebisingan Kelas dengan <i>Screen</i> Menutupi Sepertiga Tinggi Bingkai Jendela	69
Gambar 4.17 Plot Kebisingan Sekolah dengan <i>Screen</i> Menutupi Setengah Tinggi Bingkai Jendela.....	70
Gambar 4.18 Plot Kebisingan Kelas dengan <i>Screen</i> Menutupi Setengah Tinggi Bingkai Jendela.....	71
Gambar 4.19 Plot Kebisingan Sekolah dengan <i>Screen</i> Menutupi Keseluruhan Jendela Kelas Lantai Atas dan Setengah Tinggi Bingkai Jendela Kelas Lantai Bawah.....	72
Gambar 4.20 Plot Kebisingan Kelas dengan <i>Screen</i> Menutupi Keseluruhan Jendela Kelas Lantai Atas dan Setengah Tinggi Bingkai Jendela Kelas Lantai Bawah.....	73
Gambar 4.21 Plot Kebisingan Sekolah dengan Penggunaan <i>Screen</i> Saja.....	75
Gambar 4.22 Plot Kebisingan Kelas dengan Penggunaan <i>Screen</i> Saja.....	75
Gambar 4.23 Plot Kebisingan Sekolah dengan <i>Barrier</i> sebagai Tempat Berteduh (<i>Shelter</i>).....	77
Gambar 4.24 Plot Kebisingan Kelas dengan <i>Barrier</i> sebagai Tempat Berteduh (<i>Shelter</i>).....	77

“Halaman ini memang dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Standar Baku Tingkat Kebisingan	11
Tabel 2.2 Rugi Transmisi (TL) dari Berbagai Bahan dengan Ketebalan dan Massa Jenis Tertentu	20
Tabel 4.1 Nilai Kebisingan di Tepi Jalan Ahmad Yani (Titik Sumber).....	44
Tabel 4.2 Nilai Kebisingan di Fasad Lantai Bawah.....	45
Tabel 4.3 Nilai Kebisingan di Fasad Lantai Atas.....	45
Tabel 4.4 Nilai Kebisingan di Kelas Lantai Bawah.....	46
Tabel 4.5 Nilai Kebisingan di Kelas Lantai Atas	46
Tabel 4.6 Nilai Kebisingan Siang Malam (Lsm) di Kelas (dBA).....	48
Tabel 4.7 Nilai Kebisingan Siang Malam (Lsm) di Kelas (dB)	49
Tabel 4.8 Atenuasi <i>Single Screen Barrier</i> di Fasad Lantai Bawah.....	52
Tabel 4.9 Nilai Lsm Fasad Lantai Bawah Hasil Pengukuran dan Setelah Diberi <i>Single Screen Barrier</i>	52
Tabel 4.10 Nilai <i>Noise Reduction</i> (NR) dari Dinding Kelas/Partisi Lantai Bawah	54
Tabel 4.11 Nilai Lsm Fasad dan Kelas Lantai Bawah Setelah Diberi <i>Single Screen Barrier</i>	55
Tabel 4.12 Atenuasi <i>Double Screen Barrier</i> di Fasad Lantai Atas.....	56
Tabel 4.13 Atenuasi Balkon Lantai Atas sebagai <i>Single Screen Barrier</i>	57
Tabel 4.14 Atenuasi Tambahan di Fasad Lantai Atas akibat Pemasangan <i>Single Screen Barrier</i> di Depan.....	58
Tabel 4.15 Nilai Lsm Fasad Lantai Atas Hasil Pengukuran dan Setelah Diberi <i>Single Screen Barrier</i>	58
Tabel 4.16 Nilai <i>Noise Reduction</i> (NR) dari Dinding Kelas/Partisi Lantai Atas.....	59
Tabel 4.17 Nilai Lsm Fasad dan Kelas Lantai Atas Setelah Diberi <i>Single Screen Barrier</i>	59

“Halaman ini memang dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebisingan merupakan produk sampingan dari kemajuan peradaban manusia. Demi menunjang banyaknya aktivitas manusia, perkotaan padat penduduk memiliki banyak sekali sumber bising. Di perkotaan padat penduduk, jarak antara sumber bising dengan wilayah permukiman manusia sangat dekat, sehingga dampak negatif yang ditimbulkan jauh lebih besar daripada daerah yang penduduknya lebih jarang. Dampak negatif yang ditimbulkan akibat bising yang berlebihan dapat berupa gangguan psikologis, gangguan pada telinga, dan gangguan pada tubuh (**Brown, 1979**). Gangguan psikologis antara lain stres, mudah marah, sukar tidur, sukar berkonsentrasi, kepala pusing, dan cepat lelah. Adapun gangguan pada telinga antara lain pergeseran ambang batas pendengaran, penurunan daya dengar (*prebycusis*), trauma akustik pada organ telinga, ketulian sementara, dan bahkan ketulian permanen. Gangguan pada tubuh seperti ketegangan otot, meningkatnya produksi adrenalin, dan meningkatnya tekanan darah. Selain itu, kebisingan berlebihan juga dapat menurunkan tingkat produktivitas kerja. Kebisingan berlebihan juga dapat dikategorikan sebagai polusi yang cukup merugikan. Maka dari itu, perkotaan padat penduduk sangat baik untuk dijadikan fokus utama dalam penelitian dampak kebisingan terhadap manusia.

Diantara banyaknya sumber bising di perkotaan, sumber yang paling mendominasi adalah bising dari lalu lintas. Bahkan, di perkotaan padat penduduk, jarak antara sumber dominan dengan wilayah kegiatan manusia banyak yang kurang dari 10 m. Berdasarkan keadaan tersebut dan melihat dampak negatif yang ditimbulkan, pengendalian bising penting untuk diterapkan. Pengendalian bising dapat dilakukan dengan cara melakukan pemasangan penghalang bising (*noise barrier*). Penghalang bising ini biasanya berupa tembok dengan ketinggian tertentu yang terletak diantara objek sumber bising dengan subjek yang terpapar

kebisingan. Tujuan dari pemasangan ini tentu saja untuk mengurangi intensitas kebisingan (desibel atau dB) yang sampai pada subjek terpapar. Besar kecilnya pengurangan kebisingan ditentukan oleh nilai rugi transmisi (*transmission loss*), reduksi bising (*noise reduction*), dan atenuasi barrier (*barrier attenuation*) dari penghalang bising. Nilai-nilai tersebut dapat dimanipulasi dengan melakukan modifikasi pada penghalang bising, dari segi ketinggian, material, maupun bentuk (geometri).

Perhitungan ketinggian penghalang yang sesuai umumnya dilakukan melalui metode Maekawa, metode nomograph, maupun metode grafik. Metode tersebut mengkalkulasi ketinggian dengan melihat sifat bunyi yang terhamburkan (difraksi) ketika membentur puncak penghalang. Metode perhitungan tersebut sudah umum dipakai dalam perancangan penghalang bising pada tugas-tugas akhir sebelumnya. Metode Maekawa pernah digunakan untuk mengendalikan kebisingan akibat lalu lintas di SMAN 5 Surabaya (**Winarno, Dhanardono, & Asmoro, 2015**). Kebisingan lalu lintas terukur sebesar 77,812 dBA dengan jarak rata-rata pengukuran dari tepi jalan sepanjang 8.5 m. Untuk memperoleh nilai standar 55 dBA, diperlukan reduksi sebesar 22,812 dBA. Dari hasil perhitungan tersebut, diperlukan ketinggian 4,154 m untuk *single screen barrier* dan 3 m - 5 m untuk *double screen barrier*. Sehingga, diperlukan ketinggian antara 4 hingga 5 m untuk mereduksi kebisingan akibat lalu lintas pada sekolah tersebut. Penelitian tersebut dominan membahas mengenai perancangan penghalang bising dari segi ketinggian saja. Penelitian tersebut berhasil membuat rancangan yang sesuai dengan standar baku tingkat kebisingan, namun masih kurang memperhatikan segi dominansi pandangan dan kemudahan aplikasi di lapangan. Maka dari itu, diperlukan modifikasi penghalang dari segi geometri maupun konfigurasi yang lebih aplikatif.

Modifikasi tidak terbatas hanya pada ketinggian dan penambahan jumlah *screen*, namun dapat dilakukan juga dengan modifikasi peletakkan *screen* maupun penambahan geometri tertentu pada bangunan yang sudah ada. Perhitungan Maekawa

sulit diaplikasikan untuk membuktikan hasil modifikasi yang dibuat, sehingga diperlukan cara lain untuk dapat mengamati hasil reduksi bising yang didapat. Cara tersebut antara lain melalui proses simulasi 2 dimensi (2D). Simulasi 2D dapat menggambarkan bagaimana suara berpropagasi melalui geometri penghalang yang termodifikasi, sehingga kita dapat mengamati kebisingan dan dampak yang diberikan oleh geometri penghalang bising terhadap kebisingan tersebut secara langsung.

Kasus kebisingan diambil di wilayah Jalan Ahmad Yani Kota Surabaya, tepatnya di Sekolah Dasar Negeri Siwalankerto I. Bagian muka sekolah berhadapan secara langsung dengan lalu lintas jalan dan berjarak kurang dari 10 m. Bagian muka sekolah juga tidak memiliki pagar tembok yang tertutup, hanya pagar besi terbuka. Penelitian di lokasi yang sama sebelumnya telah menunjukkan rata-rata nilai kebisingan lalu lintas di Jalan Ahmad Yani adalah sebesar 80,3 dBA (**Pawestri, N., & Antaryama, 2011**). Penelitian tersebut meneliti reduksi kebisingan yang diakibatkan oleh *layout* bangunan sekolah. Hasil pengukuran di dalam seluruh kelas menunjukkan nilai kebisingan rata-rata sebesar 65,36 dBA, tereduksi sebesar rata-rata 14,94 dBA. Nilai tersebut tentu masih di atas standar baku tingkat kebisingan yang ditetapkan oleh Kementerian Lingkungan Hidup untuk kawasan sekolah, yaitu sebesar 55 dBA (**Kusumaatmadja, 1996**). Dengan jarak dari sumber kebisingan yang kurang dari 10 meter dan tidak adanya pagar tembok pada muka sekolah, tentu kebisingan tidak akan mengalami pelemahan yang berarti. Hal ini tentu akan mengganggu aktifitas guru dan siswa-siswi di sekolah. Penting untuk terlebih dahulu menganalisa kebisingan dari sumber. Melalui analisa tersebut, dapat diketahui metode pengukuran yang tepat untuk pengambilan data di lapangan. Setelah data pengukuran diperoleh, dilakukan proses perhitungan Maekawa untuk memperoleh desain dasar, yaitu ketinggian penghalang yang sesuai. Setelah desain dari perhitungan diperoleh, dilakukan proses perancangan melalui simulasi 2D menggunakan perangkat lunak COMSOL. Hasil yang diperoleh kemudian dimodifikasi dari segi geometri dan konfigurasi untuk

meningkatkan nilai atenuasi penghalang bising. Hasil modifikasi kemudian dianalisis dan dilakukan pembahasan terhadap desain yang telah dibuat, sehingga pada akhirnya diperoleh desain penghalang bising yang sesuai dengan tujuan dari tugas akhir ini.

1.2 Permasalahan

Berdasarkan uraian pada latar belakang dirumuskan beberapa permasalahan yang harus terjawab sebagai berikut:

- a. Bagaimana tingkat kebisingan akibat lalu lintas pada Sekolah Dasar Negeri Siwalankerto I jika dibandingkan dengan standar nilai baku tingkat kebisingan sesuai Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 48/MENLH/11/1996?
- b. Bagaimana solusi desain pengendalian bising pada Sekolah Dasar Negeri Siwalankerto I yang dapat memenuhi standar baku tingkat kebisingan?

1.3 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah di atas, tujuan dilakukannya penelitian ini adalah:

- a. Untuk membandingkan tingkat kebisingan di Sekolah Dasar Negeri Siwalankerto I dengan standar nilai baku tingkat kebisingan sesuai Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 48/MENLH/11/1996.
- b. Untuk memberi solusi desain pengendalian bising pada Sekolah Dasar Negeri Siwalankerto I yang dapat memenuhi standar baku tingkat kebisingan.

1.4 Batasan Masalah

Agar pembahasan tidak meluas dan menyimpang dari tujuan dan rumusan masalah, akan diberikan beberapa batasan masalah dari penelitian ini, yaitu:

- a. Simulasi dilakukan hanya pada 2 dimensi (2D) menggunakan perangkat lunak COMSOL Multiphysics 4.4 dengan komputasi berbasis *Boundary Element Method* (BEM).

- b. Digunakan elemen batas (*boundary*) pada simulasi berupa *Sound Hard Boundary (Wall)* sebagai elemen yang mewakili permukaan padat/keras, *Plane Wave Radiation* sebagai elemen yang mewakili daerah bebas (*infinite space*), dan *Pressure* sebagai elemen yang mewakili sumber kebisingan.
- c. Kebisingan yang menjadi fokus utama dalam tugas akhir ini adalah kebisingan yang berasal dari lalu lintas Jalan Ahmad Yani.
- d. Kebisingan lalu lintas dianggap sama dalam rentang 1 jam dan dianggap sebagai sumber titik.
- e. Belum ada bangunan tembok/penghalang untuk pagar depan yang menghadap Jalan Ahmad Yani.
- f. Pengendalian kebisingan menggunakan penghalang bising dan *screen* pada fasad bangunan dengan geometri dan konfigurasi yang dimodifikasi.
- g. Data kebisingan sekolah diambil pada rentang 24 jam, dengan waktu siang 16 jam (jam 06.00-22.00) dan waktu malam 8 jam (jam 22.00-06.00).
- h. Pengukuran dilakukan menggunakan mikrofon dari *sound level meter* dan perekaman data oleh perangkat lunak *Realtime Analyzer* pada laptop.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian yang dilakukan pada tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan solusi pengendalian kebisingan di lingkungan yang dekat dengan lalu lintas padat, khususnya lingkungan sekolah. Desain akhir dari penghalang bising diharapkan dapat menjadi acuan untuk pihak yang bersangkutan apabila ingin melakukan pengendalian kebisingan di lingkungannya, sehingga nantinya dapat menunjang proses belajar mengajar di Sekolah Dasar Negeri Siwalankerto I Surabaya.

“Halaman ini memang dikosongkan”.

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Kebisingan

Kebisingan merupakan bunyi-bunyian yang tidak diperlukan dan sifatnya mengganggu. Definisi ini menghasilkan dua aspek bising yaitu aspek fisik yang ditunjukkan dengan bunyi, dan juga aspek subjektif seperti asal bunyi dan keadaan pikiran dan temperamen penerima. Tingkat kebisingan adalah ukuran derajat tinggi rendahnya kebisingan yang dinyatakan dalam satuan desibel (dB). dBA adalah satuan tingkat kebisingan dalam kelas A yaitu kelas yang sesuai dengan respon telinga manusia normal. Bising yang cukup keras, di atas 70 dB, dapat menyebabkan kegelisahan, kurang enak badan, kejenuhan mendengar, sakit lambung, dan masalah peredaran darah. Bising yang sangat keras, di atas 85 dB, dapat menyebabkan kemunduran yang serius pada kondisi kesehatan seseorang pada umumnya, dan bila berlangsung lama kehilangan pendengaran sementara atau permanen dapat terjadi. Bising yang berlebihan dan berkepanjangan terlihat dalam masalah-masalah kelainan seperti penyakit jantung, dan tekanan darah tinggi.

Bising dapat dibedakan menjadi 5 jenis berdasarkan sifat dan spektrum bunyi, yaitu:

- Bising yang kontinyu (terus-menerus) dan relatif tetap dengan spektrum frekuensi yang luas. Contohnya kipas angin, *white noise*, suara pendingin ruangan, dan sebagainya.
- Bising yang kontinyu dan relatif tetap dengan spektrum frekuensi tertentu/sempit. Contohnya katup gas, suara gergaji mesin, dan sebagainya.
- Bising terputus-putus (*intermitten*). Contohnya suara lalu lintas, kebisingan landasan udara, stasiun kereta api, dan sebagainya.
- Bising impulsif singkat (perubahan tekanan suara lebih dari 40 dB dalam periode singkat). Contohnya ledakan bom, suara tembakan, petasan, meriam, dan sebagainya.

- Bising impulsif berulang. Contohnya mesin-mesin pada pabrik manufaktur, mesin tempa, dan sebagainya.

Sedangkan kebisingan yang terjadi di sekitar, dapat dibedakan menjadi:

- Kebisingan latar belakang (terpapar terus-menerus pada suatu area tanpa ada sumber bunyi yang paling berpengaruh).
- Kebisingan ambien (total kebisingan pada suatu area).
- Kebisingan tetap (berubah-ubah secara fluktuasi).

Pengendalian bising secara teknis dapat dilakukan dengan 3 cara, yaitu:

- **Pengendalian bising yang dihasilkan pada sumber**
Pengendalian kebisingan pada sumbernya dapat dilakukan dengan memodifikasi mesin atau menempatkan peredam pada sumber getaran. Tetapi alternatif ini memerlukan penelitian intensif dan umumnya juga memerlukan biaya cukup tinggi.
- **Pengendalian bising yang ditransmisikan**
Pengendalian bising yang ditransmisikan melalui udara atau material lain minimal dapat dilakukan dengan dua cara yaitu insulasi dan absorpsi. Insulasi digunakan untuk menempatkan penghalang (*barrier*) antara bunyi dan suatu area atau orang yang dilindungi dari bising. Absorpsi digunakan untuk melindungi orang atau objek yang ditempatkan pada tempat yang sama dengan sumber bunyi.
- **Pengendalian bising pada penerima**
Ketika pengontrolan bunyi di lingkungan gagal dilakukan, dapat diusahakan perlindungan terhadap manusia dengan pemakaian tutup telinga (*earmuff*), sumbat telinga (*earplug*), dan perlengkapan pelindung sejenis.

Tingkat kebisingan lalu lintas dapat digambarkan dengan grafik nilai Leq setiap waktu. Leq (*Loudness Equivalent*) adalah tingkat kebisingan kontinyu setara, yaitu nilai tertentu kebisingan dari kebisingan yang berubah-ubah (fluktuatif selama waktu tertentu yang setara dengan tingkat kebisingan yang konstan)

pada selang waktu yang sama. L_{eq} dapat diukur secara langsung dengan *sound level meter* terintegrasi atau diukur menggunakan perangkat lunak pada komputer. L_{eq} adalah ukuran dari rata-rata energi dari berbagai variasi tingkat bunyi dari suatu periode waktu. L_{eq} dapat dihitung dengan menggunakan **Persamaan 2.1**.

$$L_{eq} = 10 \log \left(\frac{1}{T} \sum t_i 10^{\frac{L_i}{10}} \right) \quad (2.1)$$

Dengan:

t_i = lamanya waktu dengan kebisingan L_i

$T = \sum t_i = t_1 + t_2 + t_3 + \dots$

a. Desibel

Kepekaan telinga yang tidak sama terhadap bunyi menyebabkan pengukuran tingkat keras bunyi menggunakan satuan desibel (dB) menjadi lebih mudah, karena terdiri dari angka-angka yang lebih mudah dipahami. Batas terbawah kemampuan telinga manusia dalam mendengar bunyi adalah 0 dB dan batas tertinggi adalah 140 dB. Pengukuran bunyi menggunakan tingkat tekanan yang keras lebih sesuai dilakukan sebab sensasi yang secara nyata dirasakan telinga, lebih pada keras atau pelannya bunyi, sementara faktor frekuensi adalah pertimbangan selanjutnya. Satuan tingkat bunyi disesuaikan dengan beban jaringannya, misalnya dBA, dBB, dBC dan dBD. Skala A merupakan respon yang paling mewakili batasan pendengaran manusia dan respon telinga terhadap bising, termasuk bising lalu lintas serta bising yang dapat menimbulkan kehilangan pendengaran. Skala A dinyatakan dalam satuan dBA.

Bising lalu lintas terdiri atas banyak sumber yang bervariasi, merata dari frekuensi rendah hingga frekuensi tinggi, sehingga dapat diartikan bahwa kebisingan lalu lintas merupakan hasil penjumlahan dari banyak sumber yang tidak koheren (*incoherent*). Penjumlahan nilai tingkat tekanan bunyi desibel tidak bersifat linier seperti $1+1=2$. Penambahan desibel

bersifat logaritmik. **Persamaan 2.2** menunjukkan rumus penambahan desibel untuk sumber bising *incoherent*.

$$SPL_{Total} = 10 \log \left[10^{\frac{L_1}{10}} + 10^{\frac{L_2}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_n}{10}} \right] \quad (2.2)$$

Dengan:

$$\begin{aligned} SPL_{Total} &= \text{Tingkat Tekanan Bunyi Total/dB Overall (dB)} \\ L &= \text{Kebisingan Sumber-sumber Incoherent (dB)} \end{aligned}$$

Untuk menghitung nilai rata-rata dari beberapa nilai desibel yang berbeda, digunakan **Persamaan 2.3**.

$$L_{AV} = 10 \log_{10} \left(\frac{10^{L_1/10} + 10^{L_2/10} + \dots + 10^{L_n/10}}{n} \right) \quad (2.3)$$

Dengan:

$$\begin{aligned} L_{AV} &= \text{Nilai Desibel Rata-Rata (dB)} \\ L_1, L_2 &= \text{TTB Pertama, TTB Kedua (dB)} \\ n &= \text{Jumlah TTB yang Berbeda} \end{aligned}$$

b. Standar Baku Tingkat Kebisingan

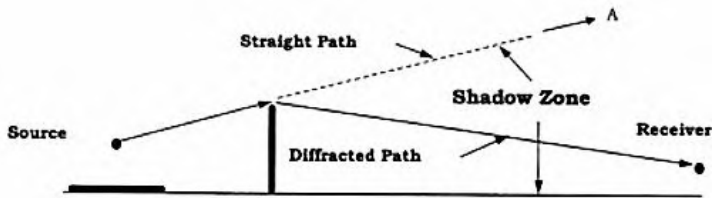
Pemerintah Indonesia, melalui SK Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 48/MENLH/11/1996, tanggal 25 Nopember 1996, tentang kriteria batas tingkat kebisingan untuk daerah pemukiman mensyaratkan tingkat kebisingan maksimum untuk lingkungan perumahan dan pemukiman atau sejenisnya adalah sebesar 55 dBA. **Tabel 2.1** menunjukkan standar baku kebisingan untuk beberapa jenis lingkungan.

Tabel 2.1 Standar Baku Tingkat Kebisingan

BAKU TINGKAT KEBISINGAN	
Peruntukan Kawasan	Tingkat Kebisingan (dBA)
1. Perumahan dan Pemukiman	55
2. Perdagangan dan Jasa	70
3. Perkantoran dan Perdagangan	65
4. Ruang Terbuka Hijau	50
5. Industri	70
6. Pemerintahan dan Fasilitas Umum	60
7. Rekreasi	70
8. Khusus:	
• Bandar Udara *)	
• Stasiun Kereta Api *)	
• Pelabuhan Laut	70
• Cagar Budaya	60
Lingkungan Kegiatan	
1. Rumah Sakit atau sejenisnya	55
2. Sekolah atau sejenisnya	55
3. Tempat Ibadah atau sejenisnya	55
Keterangan: *) disesuaikan dengan ketentuan Menteri Perhubungan	

2.2 Penghalang Bising (*Noise Barrier*)

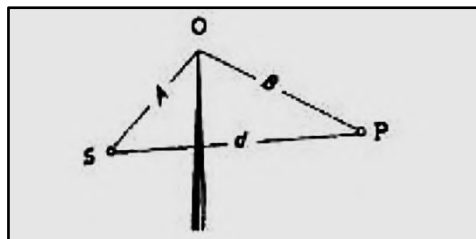
Sesuai dengan namanya, *noise barrier* atau penghalang bising adalah suatu dinding atau partisi penghalang yang digunakan untuk mengendalikan transmisi bising yang dirambatkan melalui udara (*airborne noise*) dimana dinding ini letaknya diantara sumber dan penerima. Fungsi dari penghalang bising ini adalah memberikan zona bayangan (*shadow zone*) atau daerah dimana mempunyai bising yang lebih senyap pada penerima. Fakta umum menunjukkan bahwa penghalang sangat efektif untuk mengurangi bising pada frekuensi tinggi daripada bising frekuensi rendah.



Gambar 2.1 *Shadow Zone* Akibat Penghalang Bising

a. Metode Maekawa

Metode Maekawa merupakan metode yang digunakan untuk mengurangi tingkat tekanan bunyi dengan menggunakan penghalang akustik. Metode Maekawa biasa menggunakan metode grafik (kurva). Dengan menggunakan metode Maekawa ini, kita dapat menentukan nilai pengurangan tingkat tekanan bunyi, tergantung dari jarak dari sumber ke penghalang, dan tergantung pada frekuensi bunyi.



Gambar 2.2 *Noise Barrier Single Screen*

Untuk penghalang tunggal (*single screen barrier*) seperti pada **Gambar 2.2**, nilai *path length difference* dapat dihitung dengan **Persamaan 2.4**.

$$\delta = A + B - d \quad (2.4)$$

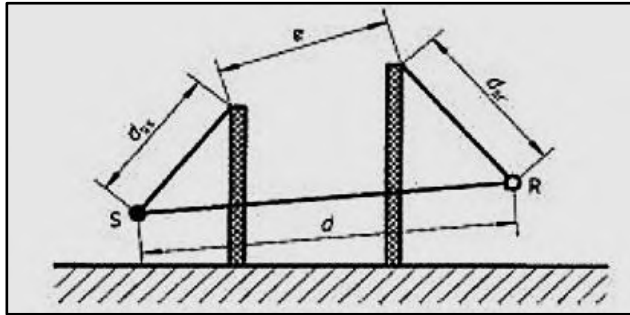
Dengan:

δ : *path length difference* (m)

A : jarak sumber bising ke puncak *barrier* (m)

B : jarak puncak *barrier* ke pendengar (m)

d : jarak sumber bising ke pendengar (m)



Gambar 2.3 Noise Barrier Double Screen

Apabila *single screen* belum dapat memenuhi nilai atenuasi yang diperlukan, dapat dilakukan penambahan jumlah *screen*. Untuk *double screen barrier* (penghalang ganda) yang ditunjukkan **Gambar 2.3**, *path length difference* dapat dihitung menggunakan **Persamaan 2.5**.

$$\delta = [(d_{ss} + d_{sr} + e)^2 + a^2]^{\frac{1}{2}} - d \quad (2.5)$$

Dengan:

δ : *path length difference* (m)

d_{ss} : jarak sumber ke puncak penghalang pertama (m)

d_{sr} : jarak puncak penghalang kedua ke titik penerima (m)

a : jarak antara kedua *barrier* (m)

- e : jarak antara puncak masing-masing penghalang (m)
 d : jarak antara sumber bising dengan penerima (m)

Setelah didapatkan nilai *path length difference*, kemudian dapat dihitung nilai *barrier attenuation* (B) dengan **Persamaan 2.6**.

$$B = 10 \log \left(3 + \frac{40\delta}{\lambda} \right) \quad (2.6)$$

Dengan:

- B : *Barrier Attenuation* (dB)
 δ : *Path Length Difference* (m)
 λ : Panjang Gelombang (m)

b. Metode Nomograph

Metode nomograph digunakan untuk menghitung seberapa tinggi penghalang yang dibutuhkan untuk mengurangi bising sebesar yang diinginkan. Nomograph memberikan gambaran yang akurat untuk pengurangan tingkat tekanan bunyi (TTB). Metode nomograph ini digunakan untuk mengetahui nilai atenuasi akibat penghalang bising dengan menggunakan grafik nomograph. Dalam penentuan nilai atenuasi diperlukan nilai *barrier break*, *barrier position*, jarak sumber bising dengan penerima, dan *angle subtended*.

c. Metode Grafik

Metode grafik merupakan salah satu metode yang digunakan dalam menentukan besarnya atenuasi pada *noise barrier*. Pada metode ini, digunakan *Fresnel number* untuk mengetahui besarnya nilai atenuasi dari penghalang bising. *Fresnel number* diperoleh dengan menghitung nilai *path length difference* seperti pada metode Maekawa. *Fresnel number* dapat dicari dengan **Persamaan 2.7**.

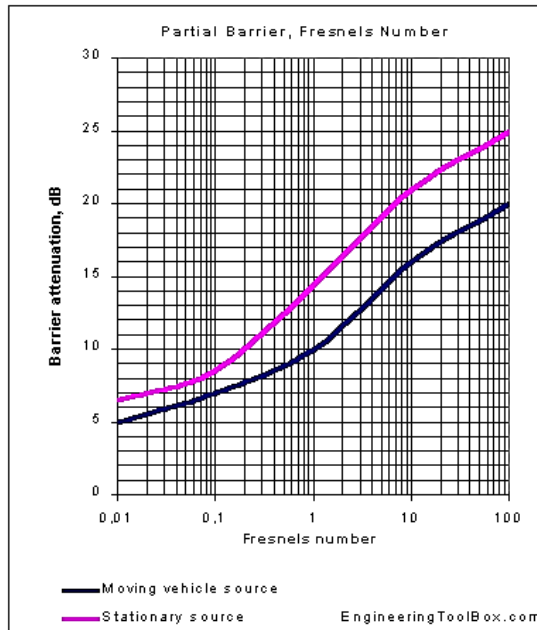
$$N = \frac{2\delta}{\lambda} \quad (2.7)$$

Dimana:

N = *Fresnel Number*

δ = *Path Length Difference* (m)

λ = *Panjang Gelombang* (m)



Gambar 2.4 Grafik *Fresnel Number*

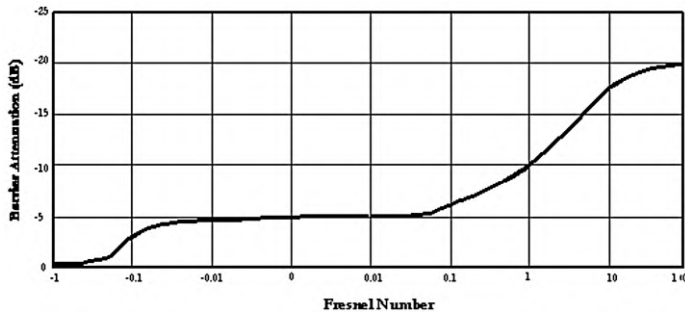
Gambar 2.4 menunjukkan perbedaan nilai *barrier attenuation* yang diperoleh antara *stationary source* (sumber diam) dan *moving vehicle source* (sumber bergerak). Menurunnya nilai atenuasi penghalang pada sumber bergerak dikarenakan karena adanya perbedaan jenis divergensi. Divergensi merupakan sifat bagaimana suara dari sumber berpropagasi pada suatu medan bebas (*free field*). Pada kasus kebisingan lalu lintas, umumnya terdapat dua jenis divergensi, yaitu divergensi sferis (*spherical*) dan divergensi silindris (*cylindrical*) (FHWA, *Noise Barrier Design Handbook*, 1978).

Divergensi sferis merepresentasikan propagasi suara yang berasal dari sumber titik, yang pada kasus kebisingan lalu lintas digambarkan sebagai satu kendaraan yang melintas. Divergensi sferis memiliki nilai atenuasi 6 dB tiap penambahan 2 kali jarak. Sedangkan, divergensi silindris merepresentasikan propagasi suara yang berasal dari sumber garis, yang pada kasus kebisingan lalu lintas digambarkan sebagai kendaraan yang melintas silih berganti. Divergensi silindris memiliki nilai atenuasi 3 dB tiap penambahan 2 kali jarak. Dari kedua nilai atenuasi masing-masing jenis divergensi, dapat dipahami bagaimana sumber bergerak (sumber garis) memiliki nilai atenuasi penghalang yang lebih kecil.

Seperti yang sudah diketahui sebelumnya, bahwa grafik Fresnel tersebut diperoleh dari perhitungan Maekawa, yang mana didasarkan pada konsep difraksi Fresnel (*Fresnel Diffraction*). Suatu penelitian telah membuktikan bahwa perhitungan atenuasi penghalang bising menggunakan konsep difraksi Fresnel adalah representasi terbaik untuk kebisingan dengan sumber titik (**Foss, R. N., Noise Barrier Screen Measurements, 1975**).

Walaupun perhitungan Maekawa bukan merupakan perhitungan atenuasi penghalang dengan sumber garis, namun kumpulan titik-titik sumber yang berdekatan dapat diasumsikan sebagai sumber garis (**Lamancusa, J.S., Noise Control, 2009**) jika:

- Sumber memiliki ketinggian dan kekuatan yang relatif sama.
- Kondisi propagasi suara dari sumber ke penerima diasumsikan homogen.
- Sumber dan penerima memiliki jarak 2 kali dimensi sumber pada sebuah titik ekuivalen sumber.
- Penerima terletak setidaknya 1 panjang gelombang dari titik ekuivalen sumber.



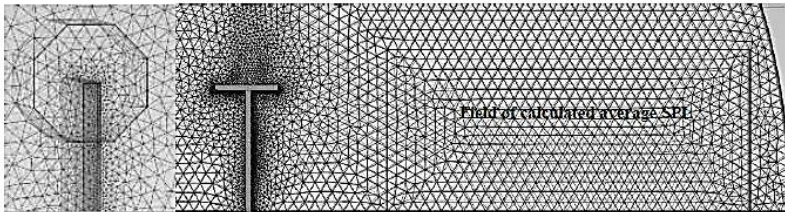
Gambar 2.5 Grafik *Barrier Attenuation* terhadap *Fresnel Number* pada Frekuensi 550 Hz (**Barry, T.M. and J.A Reagen, FHWA Highway Traffic Noise Prediction Model, 1978**)

Gambar 2.5 menunjukkan hubungan antara atenuasi penghalang bising dengan *Fresnel number* pada frekuensi 550 Hz. Frekuensi ini dinilai cukup merepresentasikan perhitungan atenuasi penghalang pada kebisingan lalu lintas jalan (**Barry, T.M. and J.A Reagen, FHWA Highway Traffic Noise Prediction Model, 1978**).

d. Metode Simulasi

Metode simulasi dapat menguji kemampuan desain/rancangan *barrier* dalam mereduksi kebisingan tanpa harus membangun terlebih dahulu di kehidupan nyata. Metode ini termasuk metode yang cukup modern dan berkembang dikarenakan kemajuan dari teknologi komputer. Metode ini memungkinkan kita untuk mengamati terjadinya propagasi suara bising di tiap titik dari objek sumber, melewati penghalang, hingga sampai pada subjek penerima. Metode ini biasa digunakan sebagai alat validasi perhitungan maupun percobaan desain penghalang baru yang belum dapat dihitung. Simulasi dapat dilakukan dengan model 2D maupun 3D melalui perangkat lunak berbasis kalkulasi *Boundary Element Method* (BEM). BEM merupakan metode komputasi yang hanya mengkalkulasi daerah atau elemen-elemen

batas/permukaan suatu objek saja, tanpa memperhitungkan volume/isi di dalamnya. Metode ini biasa digunakan untuk mengabaikan proses komputasi yang tidak diperlukan, sehingga mempermudah dalam analisis yang dilakukan dengan hasil akhir yang akurat. Penggunaan BEM pada perancangan penghalang bising sangat sesuai karena fenomena pemantulan suara hanya terjadi pada bagian permukaan tembok penghalang, dan tembok bersifat memantulkan sebagian besar energi suara, hanya sedikit yang terserap ke dalam isi tembok. Perangkat lunak yang biasa digunakan untuk perancangan penghalang bising antara lain COMSOL, Micoda, dan SoundPLAN.



Gambar 2.6 Proses *Meshing* pada Software BEM
(Volkovas, V., & Saliunas, D. 2015)

e. *Noise Reduction*

Noise Reduction (NR) atau reduksi bising merupakan selisih tingkat tekanan bunyi pada ruang sumber dengan tingkat tekanan bunyi pada ruang penerima. Secara matematis, reduksi bising dinyatakan dalam **Persamaan 2.8**.

$$NR_1 = SPL_1 - SPL_2 \quad (2.8)$$

Dengan:

NR = Reduksi Bising (dB)
 SPL₁ = Tingkat Tekanan Bunyi Sumber (dB)
 SPL₂ = Tingkat Tekanan Bunyi Penerima (dB)

f. *Transmission Loss*

Transmission loss (TL) atau sering disebut rugi transmisi suatu partisi, yang dinyatakan dalam desibel merupakan ukuran insulasi bunyi. Rugi transmisi sama dengan jumlah desibel berkurangnya energi bunyi datang pada partisi bila melewati struktur. Nilai numerik TL tergantung pada konstruksi partisi dan berubah terhadap frekuensi bunyi. TL tidak tergantung pada sifat akustik ruangan yang dipisahkan oleh partisi itu. Rugi transmisi juga dipengaruhi oleh adanya frekuensi. Untuk frekuensi yang rendah TL dipengaruhi oleh ketebalan dari dinding, sedangkan untuk frekuensi yang semakin besar TL dipengaruhi oleh massa dari dinding. Perumusan yang berkaitan dengan frekuensi merujuk pada **Persamaan 2.9**.

$$TL = (20 \log W) + (20 \log f) - C \quad (2.9)$$

Dimana:

f = Frekuensi (Hz)

W = Massa Jenis (kg/m²/cm)

C = Koefisien = 47

Tabel 2.2 Rugi Transmisi (TL) dari Berbagai Bahan dengan Ketebalan dan Massa Jenis Tertentu (**Anonymous, Guidelines on Design of Noise Barriers, 2003**)

Material	Thickness mm	Surface Density kg/m ²	Transmission Loss* (TL) dB
Polycarbonate	8 – 12	10 – 14	30 – 33
Acrylic [Poly-Methyl-Meta-Acrylate (PMMA)]	15	18	32
Concrete Block 200x200x400 light weight	200	151	34
Dense concrete	100	244	40
Light concrete	150	244	39
Light concrete	100	161	36
Brick	150	288	40
Steel, 18 ga	1.27	9.8	25
Steel, 20 ga	0.95	7.3	22
Steel, 22 ga	0.79	6.1	20
Steel, 24 ga	0.64	4.9	18
Aluminium Sheet	1.59	4.4	23
Aluminium Sheet	3.18	8.8	25
Aluminium Sheet	6.35	17.1	27
Wood	25	18	21
Plywood	13	8.3	20
Plywood	25	16.1	23
Absorptive panels with polyester film backed by metal sheet	50 – 125	20 – 30	30 – 47

g. Fenomena Bunyi pada Barrier

Bunyi yang terhalang oleh *barrier* akan memunculkan fenomena yang didasari oleh sifat dari bunyi sebagai gelombang, antara lain:

- **Absorpsi**

Merupakan fenomena terserap habisnya energi bunyi yang menghantam bidang penghalang. Fenomena ini biasa dimanfaatkan untuk mereduksi kebisingan dari bagian luar penghalang dengan menambahkan bahan yang bersifat

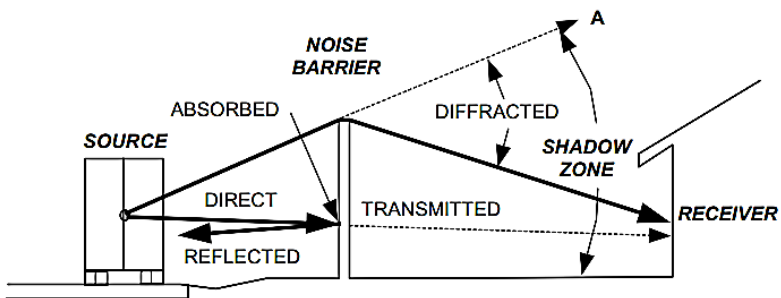
menyerap atau berpori (*porous*) pada bidang luar. Bahan tersebut biasa disebut dengan *absorber*.

- Transmisi

Merupakan fenomena tembus/bocornya energi bunyi yang menghantam bidang penghalang. Fenomena ini sangat merugikan dalam aplikasi reduksi kebisingan dan dapat diatasi dengan menambah kerapatan/massa jenis dari bahan pembentuk penghalang. Besaran yang berkaitan dengan sifat ini adalah rugi transmisi.

- Difraksi

Merupakan fenomena pembelokan/penghamburan gelombang bunyi oleh ujung/puncak *barrier*. Fenomena ini merupakan penyebab dari terbentuknya *shadow zone* dan *bright zone* pada *barrier*. Fenomena ini termasuk dari yang merugikan dan dapat diatasi dengan memanipulasi ketinggian *barrier*, dengan metode perhitungan Maekawa, nomograph, maupun grafik. Namun, metode praktis dan efektif yang biasa digunakan adalah dengan menambahkan komponen *topping* pada *barrier* dengan geometri tertentu.

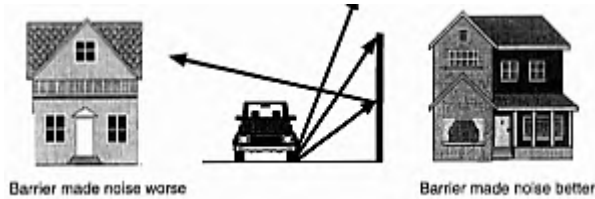


Gambar 2.7 Ilustrasi Bunyi yang Menabrak *Noise Barrier*

- Refleksi

Merupakan fenomena pemantulan gelombang bunyi oleh bidang *barrier* (*cross section*). Fenomena ini, secara umum memiliki keuntungan karena memantulkan bising dan menjauhkannya dari penerima. Namun, ada beberapa kondisi

barrier yang menyebabkan fenomena refleksi bunyi ini menjadi cukup merugikan dan perlu untuk diantisipasi. Gambar berikut menunjukkan kasus fenomena yang merugikan akibat refleksi.



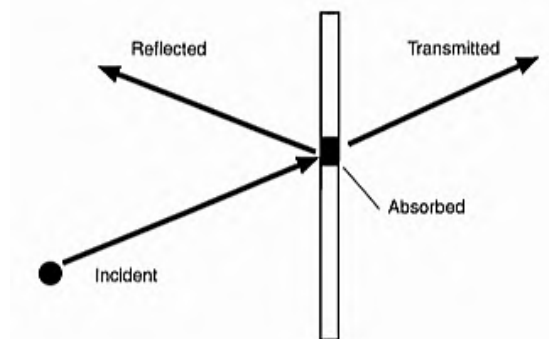
Gambar 2.8 Contoh Kasus Refleksi pada *Barrier* yang Merugikan

h. Geometri Noise Barrier

Berdasarkan titik interaksi terhadap bunyi, bagian dari geometri/bentuk *noise barrier* terdiri atas 2, yaitu bagian *cross section* dan *top edge/top profile*.

- *Cross Section*

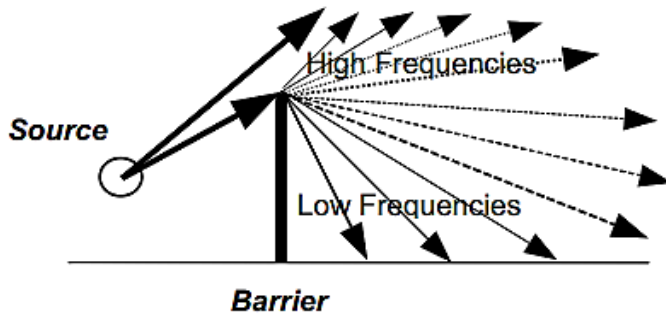
Merupakan bagian *barrier* berupa suatu bidang yang menghadap secara langsung ke arah sumber bising. Fenomena bunyi yang terjadi pada bagian ini antara lain refleksi, absorpsi, dan transmisi.



Gambar 2.9 Ilustrasi Bising yang Menabrak *Cross Section Barrier*

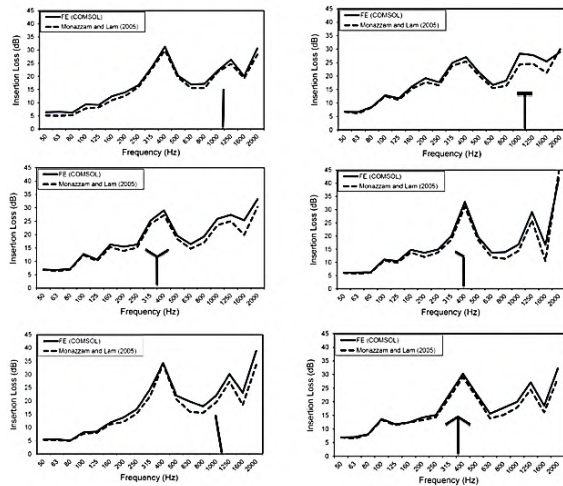
- *Top Edge/Topping*

Merupakan bagian atas/puncak *barrier* dan titik dimana terjadinya fenomena difraksi/penghamburan bunyi.

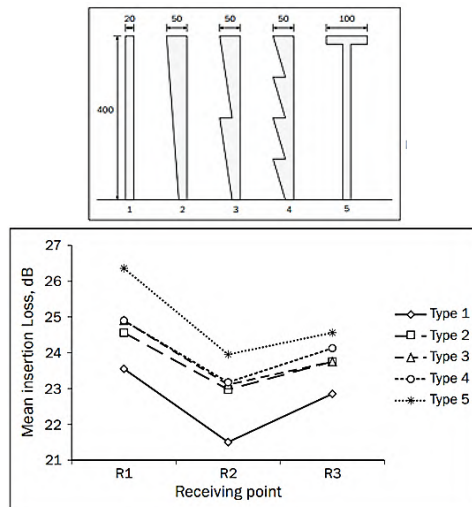


Gambar 2.10 Ilustrasi Bising yang Menabrak *Top Edge Barrier*

Untuk meningkatkan kemampuan *barrier* dalam mereduksi kebisingan, dapat dilakukan modifikasi pada geometri *noise barrier*. Modifikasi dapat dilakukan dengan merubah geometri pada bagian *cross section*, bagian *top edge*, atau bahkan pada kedua bagian tersebut secara bersamaan. Beberapa penelitian sebelumnya telah membuktikan bahwa modifikasi geometri dapat meningkatkan efektifitas *barrier*. Selain dengan merubah geometri, modifikasi juga dapat dilakukan dengan menambahkan material *absorber* atau *diffuser* pada kedua bagian tersebut. Cara tersebut juga telah terbukti efektif dalam meningkatkan nilai *insertion loss* (IL) pada penelitian-penelitian sebelumnya.

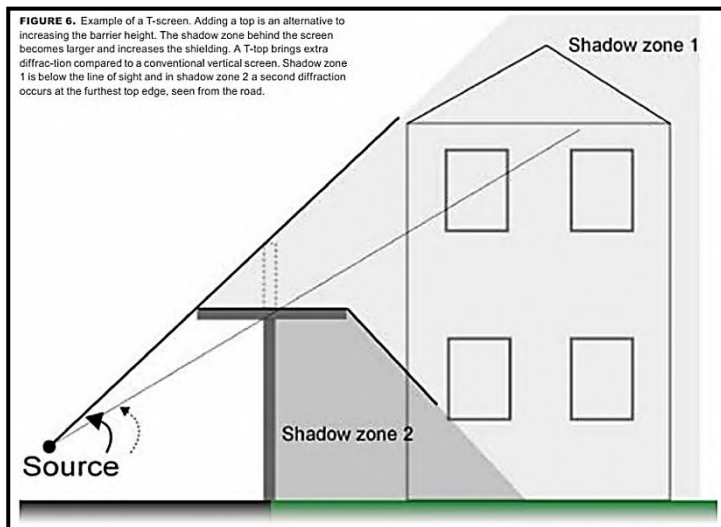


Gambar 2.11 Penelitian tentang Nilai IL terhadap berbagai Desain *Noise Barrier* (Fard, Kessissoglou, Samuels, & Burgess, 2013)



Gambar 2.12 Ilustrasi dari Penelitian mengenai Pengaruh Geometri *Cross Section* terhadap Nilai IL (Grubesa, Domitrovic, & Jambrosic, 2011)

Penghalang dengan modifikasi geometri T lebih umum digunakan daripada geometri lainnya. Sebuah penghalang berbentuk T dapat digambarkan sebagai penghalang biasa yang ditambahkan panel horizontal di atasnya. Geometri ini dapat menjadi alternatif untuk menambah ketinggian dari penghalang dengan memindahkan garis imajiner sumber bising menjauh dari titik penerima. Sehingga, *shadow zone* di belakang penghalang meningkat dan dapat menghalangi bising pada wilayah yang lebih besar. penghalang jenis T terbukti dapat meningkatkan nilai atenuasi hingga 2,7 dBA dan menghemat biaya 5 hingga 15% daripada biaya untuk menambah ketinggian penghalang (Pigasse & Kragh, 2011).

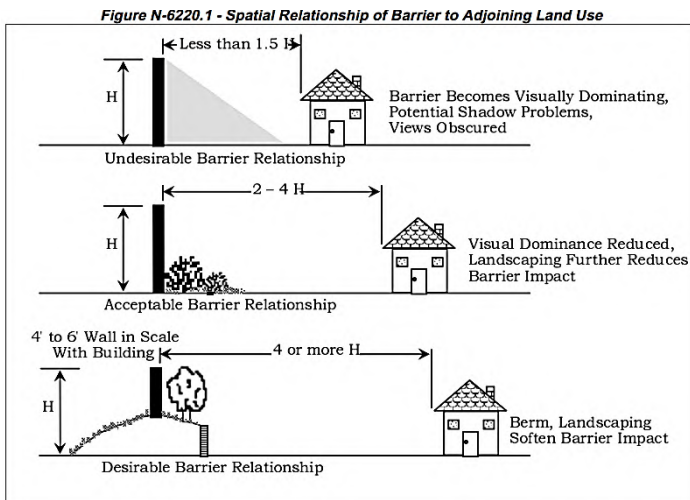


Gambar 2.13 Sebuah Ilustrasi bagaimana *Barrier* Bentuk T Bekerja (Pigasse & Kragh, 2011)

i. Aspek Visual *Barrier*

Pemasangan *barrier* secara umum berdampak positif dalam mengurangi tingkat kebisingan yang berlebihan. *Barrier* juga memiliki dampak negatif, yaitu berkurangnya pandangan dari lingkungan yang dikendalikan kebisingannya. Tentu hal

ini dapat menjadi masalah, karena selain kebisingan, penyebab lain dari stres dan perasaan tidak nyaman adalah buruknya pandangan/visual. yang cukup tinggi, apabila diletakkan terlalu dekat dengan pemukiman, dapat memberikan efek buruk secara visual. *Barrier* yang terlalu tinggi juga dapat membuat daerah bayangan yang tidak diinginkan, menghalangi sirkulasi udara segar, dan menghalangi pemandangan sekitar. Secara umum, dominansi visual dari tembok yang tinggi dekat permukiman dapat direduksi jika *barrier* diletakkan setidaknya pada jarak 2-4 kali ketinggiannya dari titik penerima terdekat (**Anonymous, Technical Noise Supplement, 1998**). Dampak visual dapat lebih diperbaiki dengan semak dan bukit kecil, atau biasa disebut dengan *earth berms*. *Earth berms* secara akustik dan visual lebih baik daripada tembok penghalang bising. Namun, tidak banyak lokasi yang sesuai untuk penerapan ini dikarenakan keterbatasan lahan, apalagi di wilayah padat penduduk.



Gambar 2.14 Ilustrasi Hubungan Jarak terhadap Dominansi Visual dari *Barrier* (**Anonymous, Technical Noise Supplement, 1998**)

Untuk mencapai aspek kelayakan visual, *barrier* sebaik mungkin ikut merefleksikan karakter atau ciri dari daerah sekitarnya (**Anonymous, Technical Noise Supplement, 1998**). Beberapa elemen yang perlu untuk dijadikan pertimbangan dalam perancangan *barrier* yang memenuhi unsur visual (**Anonymous, Guidelines on Design of Noise Barriers, 2003**), antara lain:

- Unsur arsitektural
- Dampak visual yang dapat ditimbulkan
- Keserasian dengan fitur-fitur di lingkungan sekitarnya
- Koordinasi yang baik dengan elemen/komponen sekitarnya, misal lampu jalan, trotoar, telepon umum, dll.
- Penggunaan warna
- Penggunaan *barrier* transparan untuk memperlihatkan pemandangan sekitar
- Penggunaan vegetasi pada *barrier* (*vegetated barrier*)



Gambar 2.15 Contoh *Noise Barrier* yang Serasi dengan Lingkungan Sekitarnya



Gambar 2.16 Contoh Penggunaan *Barrier* Transparan



Gambar 2.17 Contoh Aplikasi Bersama Vegetasi dengan *Barrier* (*Vegetated Barrier*)

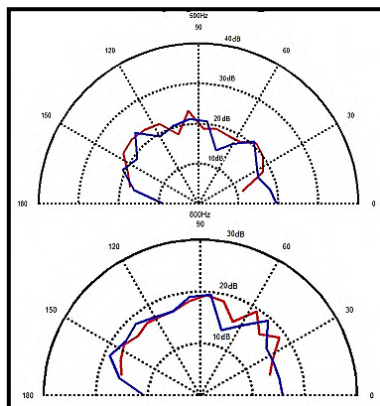
j. Vegetasi pada *barrier*

Aplikasi vegetasi umumnya dapat digunakan sebagai penghias *barrier*. Selain murah, vegetasi juga mudah didapatkan dan mudah perawatannya daripada material batu-batu penghias dinding. Selain sebagai penghias, vegetasi terbukti memiliki sifat-sifat akustik, antara lain dapat mendifusikan dan melemahkan suara. Walaupun begitu,

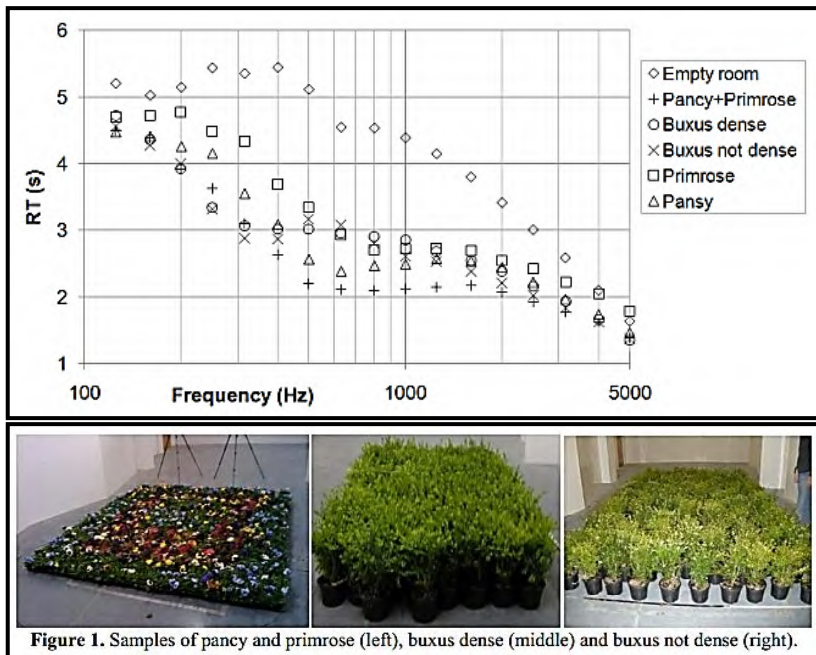
penggunaan vegetasi yang berdiri sendiri sebagai penghalang bising terbukti tidak efektif dan rata-rata hanya dapat mengurangi kebisingan kurang dari 1 dBA. Diperlukan jarak yang cukup jauh (>30 m) agar vegetasi dapat memberikan efek yang terasa.

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penambahan komponen *absorber* dan *diffuser* pada pagar atau batas tepi jalan, atenuasi bunyi yang melewati batas tersebut dapat ditingkatkan (Smyrnova, Kang, Cheal, Tijs, & Bree, 2010). Penelitian ini melakukan uji laboratorium mengenai sifat akustik pada vegetasi, terutama jenis semak-semak. Hasil pengujian pada *reverberation chamber* ruang dengung menunjukkan bahwa terjadi penurunan nilai waktu dengung (RT) yang cukup signifikan, terutama pada wilayah frekuensi tengah, yang mana cukup efektif dalam pengendalian kebisingan kota.

Penelitian lain menunjukkan bahwa vegetasi juga mampu mendifusi energi suara pada wilayah frekuensi tengah dan frekuensi tinggi (Smyrnova, KANG, Blackford, & Cheal, 2012). Ukuran daun dan batang dari vegetasi semak belukar juga berpengaruh penting terhadap pendifusian suara.



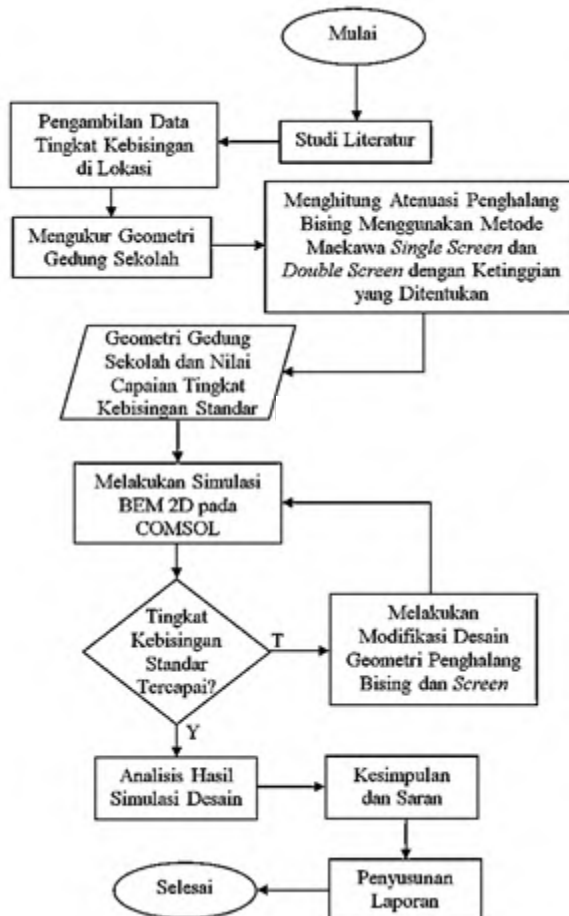
Gambar 2.18 Pola Keterarahan Hasil Difusi Suara oleh Vegetasi (Smyrnova, Y., Kang, J., Cheal, C., Tijs, E., & Bree, H.-E. d., 2010)



Gambar 2.19 Pengujian Vegetasi Jenis Semak sebagai Komponen Difusi dan Absorpsi Suara (Smyrnova, KANG, Blackford, & Cheal, 2012)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini akan dijelaskan mengenai langkah-langkah dalam melakukan pengendalian tingkat kebisingan di Sekolah Dasar Negeri Siwalankerto I Surabaya. Diagram alir dari penelitian ditunjukkan oleh **Gambar 3.1**.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

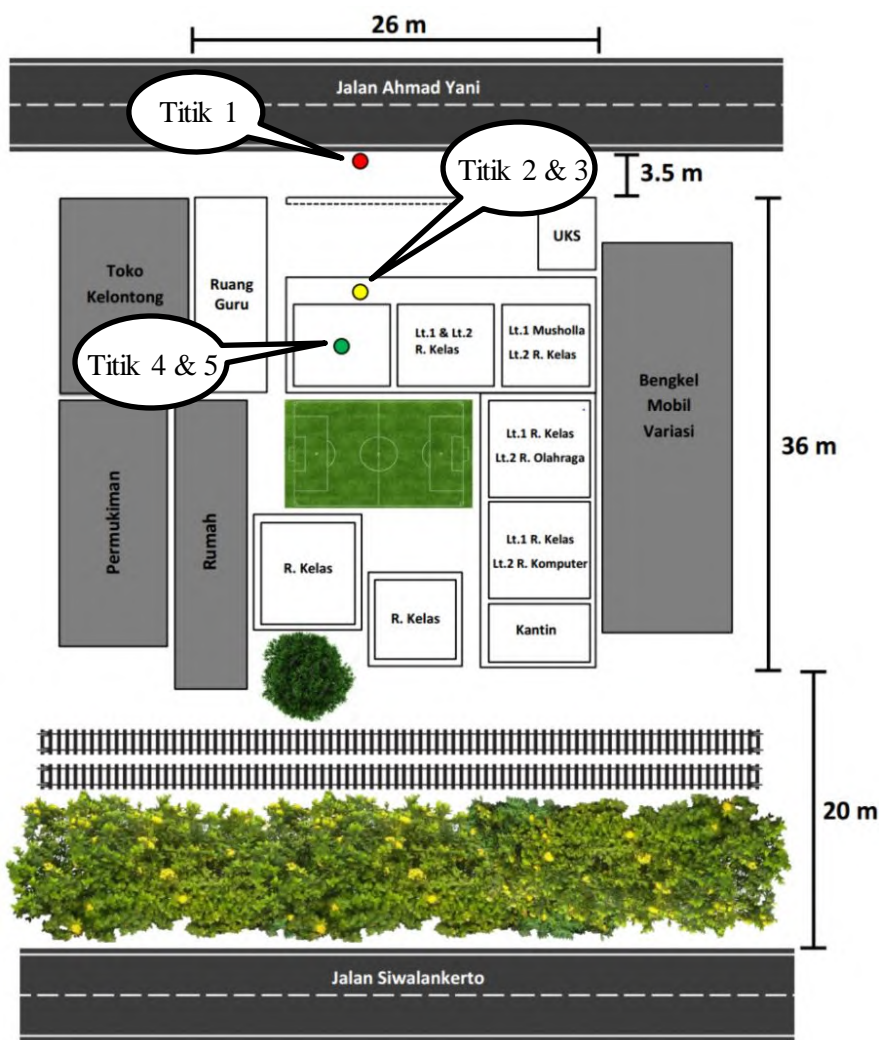
Tahap awal penelitian dimulai dengan studi literatur tentang materi yang terkait dengan kebisingan, parameter kebisingan, dan metode dalam pengendalian kebisingan. Tahap selanjutnya dilakukan pengambilan data kebisingan di lingkungan SDN Siwalankerto I Surabaya dan nilai *L_{sm}* dihitung. Data hasil pengukuran kemudian dibandingkan dengan standar baku tingkat kebisingan sesuai Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 48/MENLH/XI/1996 untuk lingkungan pendidikan yaitu sebesar ≤ 55 dBA. Data menunjukkan bahwa lingkungan yang diteliti tidak memenuhi standar kebisingan untuk lingkungan pendidikan. Maka dari itu, diperlukan perancangan penghalang bising untuk mengendalikan tingkat kebisingan di sekolah tersebut. Dari hasil perancangan menggunakan perhitungan Maekawa, diperoleh nilai *barrier attenuation* yang kemudian dibandingkan dengan standar. Tahap selanjutnya dilakukan perancangan menggunakan metode simulasi 2D menggunakan perangkat lunak COMSOL dengan desain penghalang yang berbeda untuk memperoleh tambahan nilai *barrier attenuation*. Dari hasil perancangan penghalang bising yang telah dibuat, dilakukan analisis dan pembahasan, lalu diakhiri dengan pengambilan kesimpulan dan penyusunan laporan.

3.1 Objek Pengukuran dan Titik Pengukuran

Objek pengukuran pada penelitian ini adalah SDN Siwalankerto I Surabaya. Sekolah ini terletak di salah satu pusat lalu lintas kota Surabaya, yaitu di Jalan Ahmad Yani. Jarak antara pagar sekolah dengan jalan raya hanya 3,5 meter. Inilah yang menyebabkan kebisingan di lingkungan ini sangat mengganggu. Sedangkan, berdasarkan standar baku tingkat kebisingan sesuai dengan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 48/MENLH/11/1996 kebisingan untuk lingkungan pendidikan dan sejenisnya, yang diijinkan adalah maksimal sebesar 55 dBA. Pengukuran ini dilakukan untuk memperoleh nilai kebisingan kuantitatif agar dapat dibandingkan dengan standar tersebut.

Pengukuran dilakukan di 5 titik pengukuran untuk meninjau kebisingan di gedung utama sekolah, baik lantai bawah maupun

lantai atas. Titik 1 (sumber) diletakkan tepat di tepi jalan 3,5 meter dari pagar sekolah. Pengukuran sumber dilakukan sebagai data referensi sumber kebisingan lalu lintas. Selain itu, pengukuran ini dilakukan untuk memperoleh nilai kebisingan yang akan digunakan sebagai titik sumber pada proses simulasi 2D. Titik 2 (penerima 2) diletakkan di depan tembok luar kelas lantai bawah dan titik 3 (penerima 3) diletakkan di depan tembok luar kelas lantai atas. Titik 2 dan 3 merupakan pengukuran tingkat kebisingan pada fasad gedung sekolah dan berjarak 10,5 meter dari tepi jalan Ahmad Yani. Kedua titik ini diukur sebagai acuan untuk mengetahui pengurangan kebisingan yang diakibatkan oleh tembok kelas terhadap kebisingan di dalam kelas (*noise reduction*). Titik 4 (penerima 4) diletakkan ditengah-tengah ruang kelas lantai bawah dan titik 5 (penerima 5) diletakkan di tengah-tengah ruang kelas lantai atas. Jarak dari kedua titik ini kira-kira 14 meter dari tepi jalan Ahmad Yani. Hasil pengukuran di titik 4 dan 5 ini digunakan sebagai nilai pembanding kebisingan sekolah dengan standar yang telah ditetapkan. Selama pengukuran, *sound level meter* pada tiap titik diarahkan ke Jalan Ahmad Yani sebagai sumber kebisingan utama. Berikut ini merupakan denah tampak atas SDN Siwalankerto I Surabaya beserta letak kelima titik ukur kebisingan.



Gambar 3.2 Denah Tampak Atas SDN Siwalankerto I Surabaya



Gambar 3.3 Lokasi Pengukuran dilihat dari *Google Map* (ditunjukkan oleh tanda merah) dengan Koordinat Garis Lintang -7.336350 dan Garis Bujur 112.729851



Gambar 3.4 Batasan Wilayah Tinjauan dalam Penelitian (ditunjukkan oleh garis kuning)



Gambar 3.5 Posisi Titik Ukur 1



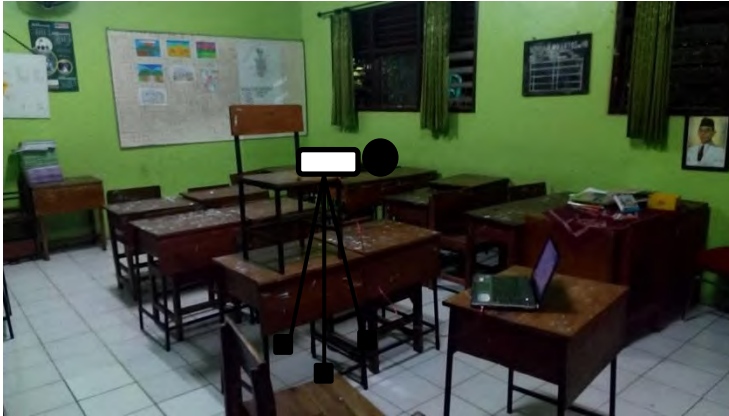
Gambar 3.6 Posisi Titik Ukur 2



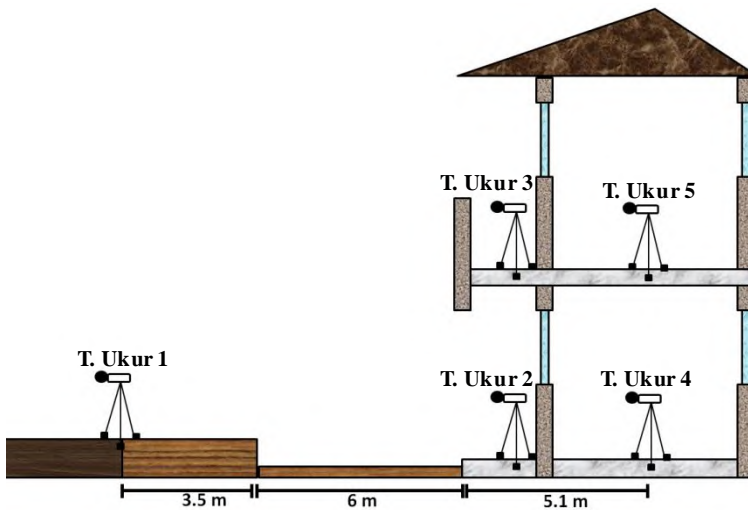
Gambar 3.7 Posisi Titik Ukur 3



Gambar 3.8 Posisi Titik Ukur 4



Gambar 3.9 Posisi Titik Ukur 5



Gambar 3.10 Posisi Kelima Titik Ukur

3.2 Pengambilan dan Pengolahan Data

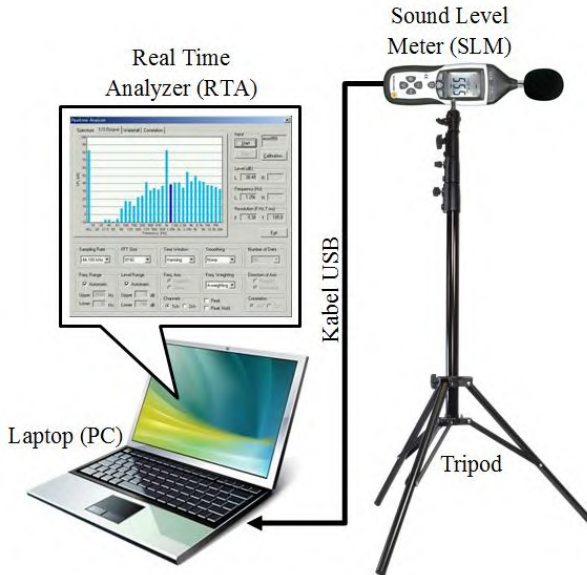
Pengambilan data dilakukan di 5 titik pengukuran untuk meninjau kebisingan di lantai bawah maupun lantai atas gedung utama sekolah. Untuk masing-masing titik dilakukan pengukuran setiap selang waktu satu jam sekali. Durasi pengukuran dilakukan

setiap 5 detik sekali selama 10 menit, sehingga didapatkan 120 data dalam 10 menit untuk mewakili masing-masing jam. Semua pengambilan data dilakukan menggunakan *Sound Level Meter* (SLM) DEKKO yang diarahkan langsung ke sumber kebisingan utama, yaitu Jalan Ahmad Yani. SLM disambungkan menggunakan kabel USB ke PC (laptop) yang telah terpasang perangkat lunak *Real Time Analyzer* (RTA). RTA digunakan untuk merekam sekaligus menyimpan data tingkat tekanan bunyi tiap frekuensi ke dalam bentuk data Microsoft Excel.

Pengambilan data dilakukan pada hari aktif sekolah (Senin-Jum'at) dengan pengambilan data selama 24 jam atau sekurang-kurangnya 4 jam pada rentang waktu siang (06.00-22.00) dan 3 jam pada rentang waktu malam (22.00-06.00). Kedua metode ini sesuai dengan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 48/MENLH/11/1996 mengenai kebisingan lingkungan.

Sebelum pengambilan data, SLM yang tersambung dengan RTA di laptop harus dikalibrasi terlebih dahulu agar nilai tingkat tekanan bunyi (TTB) yang terukur pada SLM sama dengan TTB yang terukur pada RTA. Setelah proses merekam TTB selesai, maka data TTB akan tersimpan di PC dan bisa diolah menggunakan Microsoft Excel.

Data yang didapatkan dari pengukuran kemudian dihitung nilai L_{eq} untuk masing-masing jam, kemudian dihitung nilai kebisingan siang (L_s), kebisingan malam (L_m), dan kebisingan siang malam (L_{sm}) pada masing-masing titik ukur. Setelah didapatkan nilai kebisingan maka dapat dibandingkan dengan standar baku tingkat kebisingan sesuai Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 48/MENLH/11/1996, yaitu sebesar ≤ 55 dBA untuk lingkungan pendidikan dan sejenisnya.



Gambar 3.11 Skema Alat Pengambilan Data Kebisingan

3.3 Tahap Perancangan *Noise Barrier*

Perancangan *noise barrier* bertujuan untuk menentukan nilai atenuasi penghalang (*barrier attenuation*) total yang diperlukan agar lingkungan SDN Siwalankerto I Surabaya memenuhi standar kebisingan. Nilai *barrier attenuation* dapat diperoleh dengan mula-mula menentukan ketinggian yang sesuai berdasarkan ketentuan standar dominansi visual yang digunakan, kemudian menggunakan persamaan Maekawa *path length difference* (δ) diperoleh nilai *barrier attenuation* tiap frekuensi dari penghalang bising. Nilai *barrier attenuation* tiap frekuensi (dB) tersebut kemudian dikurangkan pada nilai kebisingan siang malam (Lsm) tiap frekuensi (dB) yang diperoleh dari pengukuran langsung. Setelah itu, dilakukan perhitungan dB *overall* (dBA) dengan menggunakan rumus penjumlahan TTB untuk tiap frekuensinya dan penggunaan nilai-nilai koreksi yang diperoleh dari hasil pengukuran langsung. Nilai Lsm akhir ini (dBA) yang kemudian dibandingkan dengan standar baku tingkat kebisingan 55 dBA.

Metode yang dipakai dalam perancangan *noise barrier* ini ada 2 jenis, yaitu metode perhitungan Maekawa (*single screen* dan *double screen*) dan simulasi 2 dimensi (2D). Perhitungan Maekawa dilakukan untuk memperkirakan desain dasar penghalang dari segi ketinggian yang diperlukan. Perhitungan pada kelas lantai bawah dapat dilakukan dengan pendekatan Maekawa *single screen*, sedangkan pada kelas lantai atas dilakukan dengan pendekatan Maekawa *double screen*. Perangkat lunak yang digunakan untuk simulasi 2D adalah COMSOL Multiphysics versi 4.4. Simulasi 2D dapat digunakan untuk mengamati propagasi bising dari jalan ke lingkungan sekolah. Simulasi ini menggunakan metode komputasi berbasis *Boundary Element Method* (BEM). Selain itu, simulasi 2D dilakukan untuk mendesain *noise barrier* yang tidak sesederhana menentukan ketinggian penghalang saja, seperti pada desain Maekawa. Dengan begitu, dapat dilakukan modifikasi yang lebih jauh pada geometri penghalang bising. Modifikasi yang dilakukan pada penelitian ini adalah pengurangan ketinggian penghalang dan penambahan *screen* pada fasad bangunan. Pengurangan ketinggian dilakukan untuk mengurangi dominasi visual dari penghalang. Selain penambahan *screen* untuk mengurangi ketinggian, dapat juga dilakukan pengalihan fungsi penghalang bising untuk menyamarkan ketinggian yang mendominasi secara visual, misal dengan menambahkan atap melengkung ke depan sebagai tempat teduh untuk parkir kendaraan. Bentuk penghalang bising dari pengalihan fungsi ini dapat dibuktikan juga efeknya dalam mengurangi kebisingan lingkungan sekolah melalui simulasi. Setelah tahapan perancangan selesai dan nilai capaian tingkat kebisingan standar terpenuhi, kemudian dilakukan analisis kebisingan dan pembahasan terhadap desain penghalang yang diperoleh dan pemberian saran-saran untuk pengaplikasian rancangan. Penelitian diakhiri dengan pengambilan kesimpulan, pemberian saran untuk penelitian selanjutnya yang terkait, dan penyusunan laporan.

“Halaman ini memang dikosongkan”.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini akan menunjukkan hasil data yang telah diambil, bagaimana data diolah berdasarkan langkah-langkah yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya, dan hasil perancangan *noise barrier* yang diperoleh.

4.1 Analisis Data

Data pengukuran yang diperoleh berupa nilai Tingkat Tekanan Bunyi (TTB) *overall* maupun tiap frekuensi untuk setiap periode waktu yang telah ditentukan. Nilai TTB tersebut kemudian diolah untuk mengetahui nilai L_{eq} (Kebisingan Rata-rata) tiap periode waktu, nilai L_s (Kebisingan Siang Hari), L_m (Kebisingan Malam Hari), dan L_{sm} (Kebisingan Siang Malam). Dari nilai yang diperoleh tersebut kemudian dibandingkan dengan Standar Baku Tingkat Kebisingan Sesuai Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 48/MENLH/11/1996. Dari perbandingan yang dilakukan dapat diketahui apakah lingkungan SDN Siwalankerto I Surabaya telah memenuhi standar kebisingan atau belum. Apabila lingkungan sekolah belum memenuhi standar kebisingan yang telah ditetapkan, maka akan dilakukan perancangan *noise barrier*.

Perancangan dimulai dengan menentukan berapa nilai *noise reduction* yang diperlukan dari sebuah *noise barrier* agar kebisingan lingkungan sekolah mencapai nilai standar. Kemudian, dengan menggunakan persamaan Maekawa *single screen barrier* dan *double screen barrier*, akan diperoleh ketinggian *screen* yang diperlukan pada *noise barrier* secara matematis. Setelah perancangan *noise barrier* menggunakan pendekatan matematis (metode Maekawa), kemudian dilanjutkan dengan perancangan menggunakan simulasi 2D. Metode simulasi 2D dapat memberikan validasi terhadap perancangan matematis Maekawa dan juga mampu memodifikasi geometri *barrier* hasil perancangan dari perhitungan Maekawa, sehingga dapat diperoleh nilai *barrier attenuation* yang optimal. Dengan diperolehnya

rancangan *noise barrier* yang sesuai, diharapkan dapat tercapai lingkungan SDN Siwalankerto 1 yang memenuhi nilai kebisingan standar, sehingga kegiatan di lingkungan sekolah tidak terganggu.

4.1.1 Data Pengukuran Bising Lingkungan

Pengambilan data dilakukan pada satu hari aktif sekolah selama 24 jam dengan rincian 16 jam siang dan 8 jam malam. Untuk masing-masing titik dilakukan pengukuran setiap selang waktu 2-3 jam sekali. Durasi untuk setiap pengukuran adalah 10 menit dengan pengambilan data setiap 5 detik sekali, sehingga diperoleh total 120 data TTB yang mewakili setiap selang waktu yang ditentukan. Berikut ini adalah data pengukuran yang didapatkan dari kelima titik untuk meninjau dampak kebisingan dari Jalan Ahmad Yani terhadap lingkungan SDN Siwalankerto I Surabaya:

Tabel 4.1 Nilai Kebisingan di Tepi Jalan Ahmad Yani (Titik Sumber)

Kebisingan		Waktu	Leq (dBA)	Ls (dBA)	Lm (dBA)	Lsm (dBA)
L1	T1	06.00 - 09.00	82.04	81.16		83.00
L2	T2	09.00 - 12.00	82.04			
L3	T3	12.00 - 15.00	81.07			
L4	T4	15.00 - 18.00	81.10			
L5	T5	18.00 - 20.00	79.61			
L6	T6	20.00 - 22.00	80.34			
L7	T7	22.00 - 01.00	80.86		80.27	
L8	T8	01.00 - 04.00	78.93			
L9	T9	04.00 - 06.00	80.94			

Tabel 4.2 Nilai Kebisingan di Fasad Lantai Bawah

Kebisingan		Waktu	Leq (dBA)	Ls (dBA)	Lm (dBA)	Lsm (dBA)
L1	T1	06.00 - 09.00	76.73	75.28		76.51
L2	T2	09.00 - 12.00	75.12			
L3	T3	12.00 - 15.00	75.25			
L4	T4	15.00 - 18.00	74.64			
L5	T5	18.00 - 20.00	73.72			
L6	T6	20.00 - 22.00	74.55			
L7	T7	22.00 - 01.00	74.21		73.26	
L8	T8	01.00 - 04.00	71.59			
L9	T9	04.00 - 06.00	73.51			

Tabel 4.3 Nilai Kebisingan di Fasad Lantai Atas

Kebisingan		Waktu	Leq (dBA)	Ls (dBA)	Lm (dBA)	Lsm (dBA)
L1	T1	06.00 - 09.00	75.73	73.99		74.99
L2	T2	09.00 - 12.00	75.14			
L3	T3	12.00 - 15.00	73.85			
L4	T4	15.00 - 18.00	72.05			
L5	T5	18.00 - 20.00	71.25			
L6	T6	20.00 - 22.00	72.05			
L7	T7	22.00 - 01.00	72.68		71.50	
L8	T8	01.00 - 04.00	69.38			
L9	T9	04.00 - 06.00	71.73			

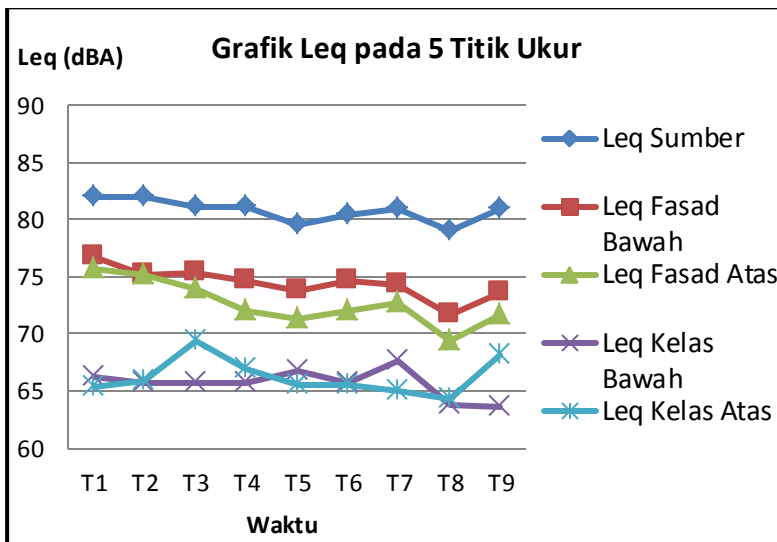
Tabel 4.4 Nilai Kebisingan di Kelas Lantai Bawah

Kebisingan		Waktu	Leq (dBA)	Ls (dBA)	Lm (dBA)	Lsm (dBA)
L1	T1	06.00 - 09.00	66.15	65.91		68.09
L2	T2	09.00 - 12.00	65.68			
L3	T3	12.00 - 15.00	65.72			
L4	T4	15.00 - 18.00	65.63			
L5	T5	18.00 - 20.00	66.75			
L6	T6	20.00 - 22.00	65.64		65.61	
L7	T7	22.00 - 01.00	67.64			
L8	T8	01.00 - 04.00	63.71			
L9	T9	04.00 - 06.00	63.66			

Tabel 4.5 Nilai Kebisingan di Kelas Lantai Atas

Kebisingan		Waktu	Leq (dBA)	Ls (dBA)	Lm (dBA)	Lsm (dBA)
L1	T1	06.00 - 09.00	65.31	66.79		68.62
L2	T2	09.00 - 12.00	65.82			
L3	T3	12.00 - 15.00	69.31			
L4	T4	15.00 - 18.00	66.95			
L5	T5	18.00 - 20.00	65.53			
L6	T6	20.00 - 22.00	65.50		65.90	
L7	T7	22.00 - 01.00	65.03			
L8	T8	01.00 - 04.00	64.38			
L9	T9	04.00 - 06.00	68.24			

Untuk grafik Leq setiap periode waktunya dapat diamati pada **Gambar 4.1**.



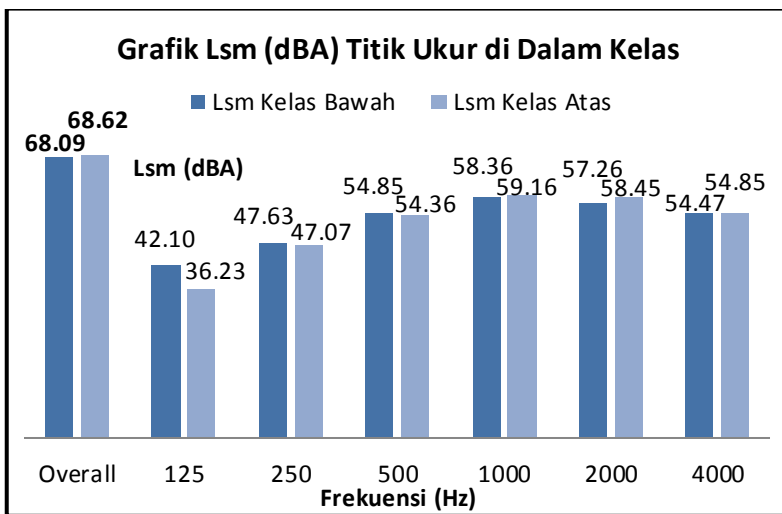
Gambar 4.1 Grafik Leq pada 5 Titik Ukur

Dari hasil perhitungan diperoleh bahwa nilai Lsm pada lingkungan sekolah cukup tinggi. Walaupun grafik nilai Lsm menunjukkan adanya reduksi kebisingan dari titik sumber menuju titik dalam kelas, namun nilai Lsm yang terukur dalam kelas masih cukup tinggi. Reduksi kebisingan tersebut diperoleh akibat adanya jarak antara sumber bising jalan raya dengan bangunan sekolah serta adanya partisi berupa dinding kelas sebelum kebisingan tersebut masuk ke dalam kelas. Pengamatan berikutnya hanya menitikberatkan pada kebisingan yang sampai ke dalam kelas. Hal ini dikarenakan subjek utama dari penelitian ini adalah kebisingan yang berdampak kepada manusia, yang dalam kasus ini adalah siswa-siswi sekolah yang tentu lebih banyak menghabiskan waktunya di dalam kelas.

Nilai Lsm dalam kelas yang cukup tinggi dapat dibuktikan dengan data kebisingan masing-masing frekuensi pada **Tabel 4.6**.

Tabel 4.6 Nilai Kebisingan Siang Malam (Lsm) di Kelas (dBA)

Frekuensi (Hz)	Overall	125	250	500	1000	2000	4000
Lsm Kelas Bawah (dBA)	68.09	42.1	47.63	54.85	58.36	57.26	54.47
Lsm Kelas Atas (dBA)	68.62	36.23	47.07	54.36	59.16	58.45	54.85

**Gambar 4.2** Grafik Lsm di Kelas (dBA)

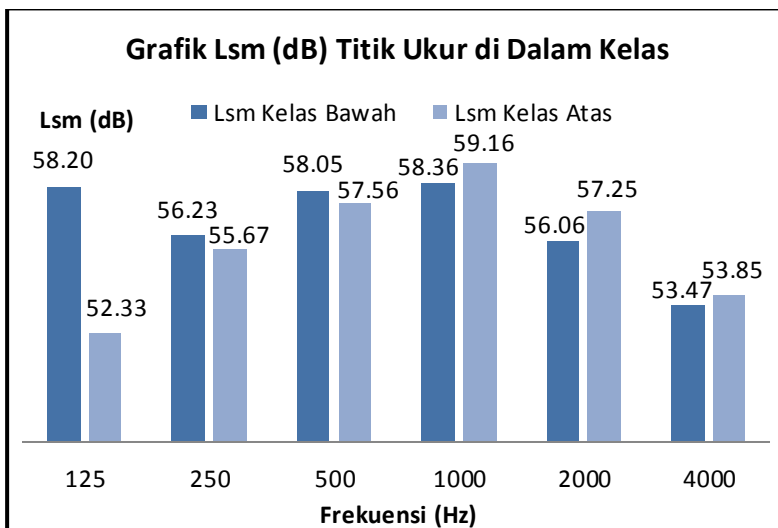
Berdasarkan **Tabel 4.6** dan **Gambar 4.2** dapat diketahui nilai Lsm kelas bawah sebesar 68,09 dBA dan kelas atas 68,62 dBA. Berdasarkan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 48/MENLH/XI/1996 batas maksimal kebisingan untuk lingkungan pendidikan dan sejenisnya adalah sebesar 55 dBA, sehingga perlu dilakukan perancangan dan pemasangan penghalang bising untuk mereduksi kebisingan akibat lalu lintas di lingkungan SDN Siwalankerto 1 Surabaya.

Perancangan penghalang bising (*noise barrier*) yang sesuai harus mengetahui berapa nilai atenuasi penghalang bising yang diperlukan. Atenuasi penghalang bising (*barrier attenuation*) merupakan suatu besaran yang menunjukkan nilai selisih

kebisingan/tingkat tekanan bunyi pada suatu tempat antara sebelum dan sesudah dipasang *noise barrier*. Nilai atenuasi *barrier* menunjukkan kemampuan desain penghalang bising dalam mengendalikan kebisingan. Nilai atenuasi *barrier* memiliki satuan dB, sehingga nilai Lsm pada **Tabel 4.6** harus dikonversikan terlebih dahulu ke dalam dB yang ditunjukkan pada **Tabel 4.7**.

Tabel 4.7 Nilai Kebisingan Siang Malam (Lsm) di Kelas (dB)

Frekuensi (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Lsm Kelas Bawah (dB)	58.2	56.23	58.05	58.36	56.06	53.47
Lsm Kelas Atas (dB)	52.33	55.67	57.56	59.16	57.25	53.85



Gambar 4.3 Grafik Lsm di Kelas (dB)

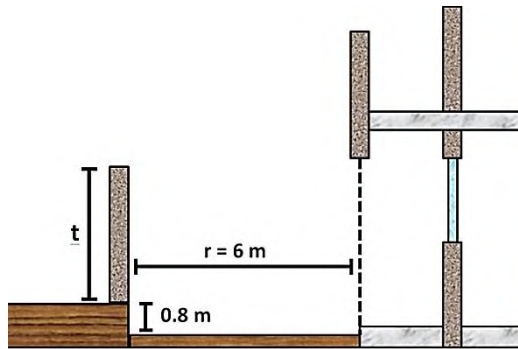
Dari **Tabel 4.7** dan **Gambar 4.3** dapat diketahui bahwa kebisingan di dalam kelas cukup merata di tiap frekuensi. Hal ini

menunjukkan bahwa lalu lintas memiliki kebisingan yang cukup variatif dengan lebar frekuensi yang cukup besar. Titik ukur di dalam kelas menunjukkan nilai kebisingan tertinggi di frekuensi 1000 Hz dengan nilai 58,36 dB pada kelas lantai bawah dan 59,16 dB pada kelas lantai atas. Desain penghalang bising akan memberikan nilai atenuasi yang mencakup setiap frekuensi, sehingga pada akhirnya akan diperoleh nilai penjumlahan TTB (dBA overall). Diharapkan hasil dari atenuasi *barrier* dapat menghasilkan nilai kebisingan akhir sebesar ≤ 55 dBA pada titik penerima di dalam kelas.

4.1.2 Perancangan *Noise Barrier* Menggunakan Metode Maekawa

Perancangan *noise barrier* untuk SDN Siwalankerto 1 memiliki kasus yang sedikit berbeda dari perancangan *barrier* pada umumnya. Hal ini dikarenakan gedung sekolah memiliki 2 titik penerima, yaitu di kelas lantai bawah dan kelas lantai atas. Ditambah lagi, desain yang diajukan harus memenuhi standar dominansi visual dengan ketinggian maksimal $\frac{1}{2}$ kali jarak *barrier* dengan fasad bangunan. Sehingga, diperlukan rancangan yang memenuhi standar baku tingkat kebisingan sekaligus memenuhi standar dominansi visual yang digunakan. Karena dampak visual paling dirasakan oleh titik penerima di lantai bawah, sehingga perhitungan atenuasi *barrier* harus memenuhi titik tersebut terlebih dahulu, setelah itu baru dapat dilakukan perancangan lanjutan untuk titik penerima lantai atas.

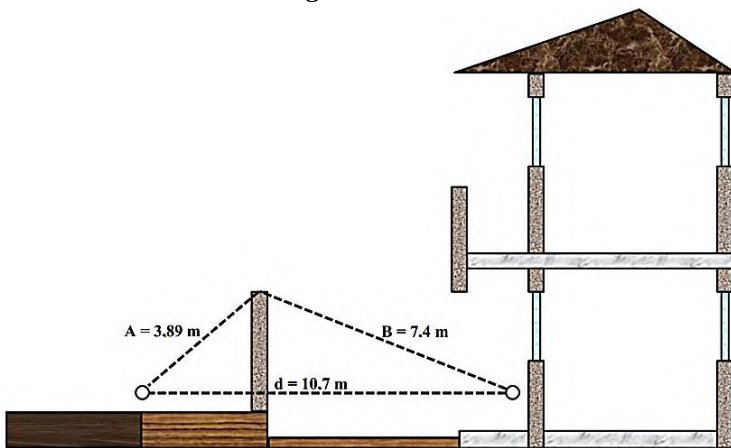
Untuk perancangan *barrier* dengan titik penerima lantai bawah dapat dilakukan pendekatan menggunakan metode Maekawa *single screen*. Pada tahap awal perancangan, digunakan asumsi ketinggian visual *barrier* dengan batas tertinggi berdasarkan standar dominansi visual, yaitu $\frac{1}{2}$ kali jarak (r) (Anonymous, Technical Noise Supplement, 1998).



Gambar 4.4 Denah Tampak Samping ketika Sekolah Dipasang Penghalang Bising

Berdasarkan **Gambar 4.4**, ketinggian *barrier* yang diperoleh berdasarkan asumsi perancangan adalah 3 meter secara visual. Untuk ketinggian *barrier* secara fisik (t) diperoleh setinggi 2,2 meter, dikarenakan adanya permukaan tanah yang lebih tinggi 0.8 meter dari permukaan lantai bangunan.

a. Metode Maekawa Single Screen



Gambar 4.5 Desain *Single Screen Barrier*

Dengan menggunakan **Persamaan 2.4** Maekawa *path length difference* dan **Persamaan 2.6** *barrier attenuation* untuk *single screen barrier*, diperoleh **Tabel 4.8** yang menunjukkan atenuasi *barrier* tiap frekuensi. Dari tabel tersebut didapatkan nilai kebisingan siang malam (Lsm) tiap frekuensi setelah pemasangan *barrier*. Nilai ini diperoleh dengan mengurangkan nilai Lsm tiap frekuensi hasil pengukuran dengan nilai atenuasi *barrier* yang ditunjukkan pada **Tabel 4.9**.

Tabel 4.8 Atenuasi *Single Screen Barrier* di Fasad Lantai Bawah

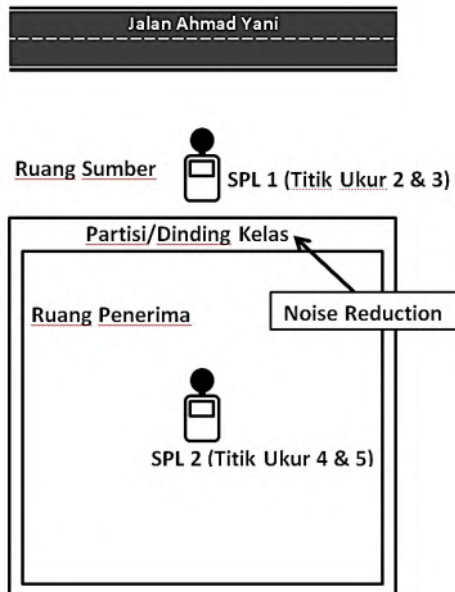
Frekuensi (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Barrier Attenuation (dB)	10.67	13.08	15.76	18.59	21.51	24.47

Tabel 4.9 Nilai Lsm Fasad Lantai Bawah Hasil Pengukuran dan Setelah Diberi *Single Screen Barrier*

Frekuensi (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Lsm Fasad hasil pengukuran (dB)	57.19	61.55	63.57	66.26	65.82	64.29
Lsm Fasad setelah <i>barrier</i> (dB)	46.53	48.47	47.81	47.67	44.31	39.82

Nilai Lsm akhir tersebut hanya memperhitungkan kebisingan dengan atenuasi *barrier* yang mencapai titik fasad bangunan saja, sedangkan pengamatan dititikberatkan pada kebisingan di dalam kelas. Maka dari itu, diperlukan nilai Lsm akhir di dalam kelas yang telah memperhitungkan pengurangan kebisingan akibat dinding kelas/partisi. Pengurangan kebisingan ini dinamakan dengan *noise reduction* (NR). Kebisingan dapat berkurang dikarenakan partisi memiliki

beberapa sifat, antara lain memantulkan (refleksi) dan menyerap (absorpsi) bunyi. Hal ini yang mengakibatkan berubahnya tingkat kebisingan yang masuk dari luar kelas/fasad (ruang sumber) ke dalam kelas (ruang penerima). Nilai ini dapat diperoleh dengan **Persamaan 2.8** *noise reduction* dengan mengurangi nilai *L_{sm}* hasil pengukuran pada titik fasad bangunan dengan nilai *L_{sm}* hasil pengukuran di dalam kelas. Reduksi kebisingan pada kasus ini dapat dipahami dengan skema yang ditunjukkan pada **Gambar 4.6**.



Gambar 4.6 Dinding Kelas sebagai Partisi yang Memiliki Nilai *Noise Reduction* (NR)

Nilai NR tersebut, selain dipengaruhi oleh partisi/dinding kelas luar, juga telah dipengaruhi oleh dinding-dinding di dalam kelas. Hal tersebut dikarenakan dinding-dinding di dalam kelas juga memiliki sifat memantulkan dan menyerap bunyi. Kedua sifat yang mempengaruhi tersebut telah

terakumulasi ke dalam nilai *L_{sm}* hasil pengukuran di dalam kelas. Sehingga, nilai NR yang diperoleh telah memperhitungkan pengaruh ruangan terhadap berkurangnya nilai kebisingan yang masuk ke dalam kelas. Dari skema **Gambar 4.6**, diperoleh **Tabel 4.10** yang menunjukkan nilai NR akibat partisi/dinding kelas lantai bawah dan **Tabel 4.16** yang menunjukkan NR pada dinding kelas lantai atas. Nilai NR tersebut mencakup tiap frekuensi dari kebisingan yang diamati.

Tabel 4.10 Nilai *Noise Reduction* (NR) dari Dinding Kelas/Partisi Lantai Bawah

Frekuensi (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Noise Reduction (dB)	-1.01	5.32	5.52	7.9	9.76	10.82

Nilai NR diatas kemudian dikurangkan pada nilai *L_{sm}* fasad setelah dipasang *noise barrier*. Dikarenakan adanya kesalahan (*error*) pada pengukuran, sehingga pada **Tabel 4.10** menunjukkan nilai NR yang negatif pada frekuensi 125 Hz. Nilai ini tidak dapat dibenarkan karena kebisingan tidak mungkin bertambah setelah melewati partisi. Maka dari itu, nilai NR pada frekuensi tersebut diasumsikan sebesar nol, sehingga tidak ikut mengurangi nilai *L_{sm}* pada fasad bangunan ketika masuk ke dalam kelas. Dari situ, diperoleh **Tabel 4.11** yang menunjukkan perbandingan nilai *L_{sm}* sebelum dan sesudah melewati dinding kelas/partisi.

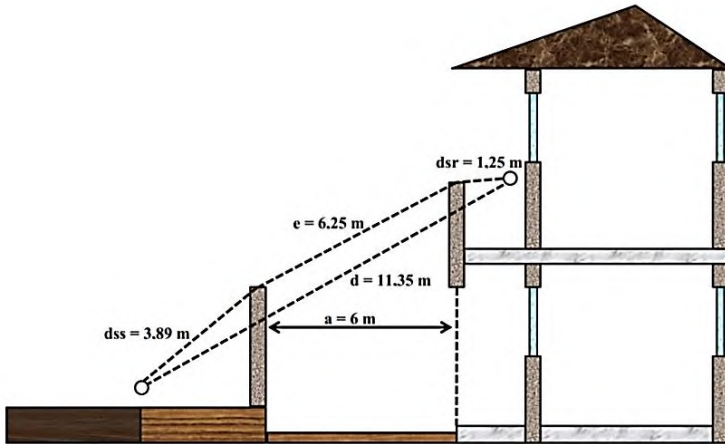
Tabel 4.11 Nilai Lsm Fasad dan Kelas Lantai Bawah Setelah Diberi *Single Screen Barrier*

Frekuensi (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Lsm Fasad setelah <i>barrier</i> (dB)	46.53	48.47	47.81	47.67	44.31	39.82
Lsm Kelas setelah <i>barrier</i> (dB)	46.53	43.15	42.29	39.77	34.55	28.99

Nilai-nilai Lsm di dalam kelas setelah diberi *barrier* di atas belum dapat dijadikan sebagai indikator perbandingan dengan standar baku 55 dBA. Hal tersebut dikarenakan nilai-nilai tersebut adalah nilai Lsm pada tiap frekuensi, yang mana tidak setara dengan standar baku Lsm 55 dBA yang merupakan nilai tingkat kebisingan keseluruhan (*overall*) dengan pembobotan A. Oleh karena itu, perlu dilakukan perhitungan dBA *overall* menggunakan **Persamaan 2.2** dan penggunaan nilai-nilai koreksi yang diperoleh dari pengolahan data. Dari proses perhitungan didapatkan hasil Lsm akhir di dalam kelas sebesar 50,49 dBA.

Nilai Lsm akhir tersebut telah memenuhi standar baku tingkat kebisingan ≤ 55 dBA menurut Kepmen LH No. 48 Tahun 1996.

b. Metode Maekawa Double Screen



Gambar 4.7 Desain *Double Screen Barrier*

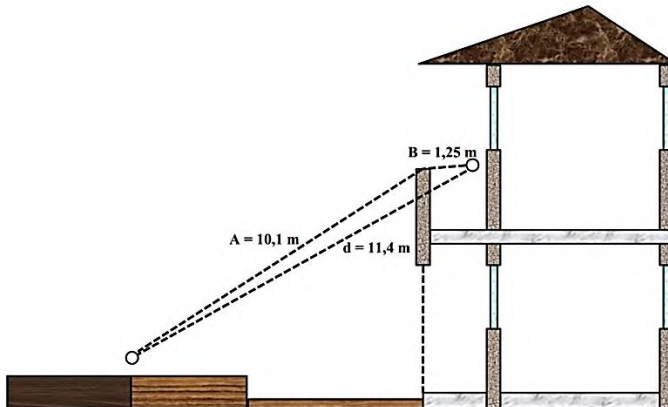
Jika dilihat dari gabungan antara *noise barrier* depan dengan dinding balkon lantai atas, terlihat secara jelas konfigurasi yang menyerupai *double screen barrier*. Sehingga, pendekatan ini dapat dilakukan untuk menghitung nilai atenuasi *barrier* yang berdampak pada kelas lantai atas. Dengan menggunakan **Persamaan 2.5** dan **Persamaan 2.6** untuk *double screen barrier*, diperoleh **Tabel 4.12** yang menunjukkan atenuasi *double screen barrier*.

Tabel 4.12 Atenuasi *Double Screen Barrier* di Fasad Lantai Atas

Frekuensi (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Barrier Attenuation (dB)	14.04	16.79	19.66	22.60	25.57	28.56

Nilai di atas merupakan atenuasi *barrier* tiap frekuensi yang diperoleh dengan penggunaan kedua *screen barrier*, penghalang di depan dan balkon lantai atas. Untuk mengetahui

perbedaan atenuasi (atenuasi tambahan) antara sebelum dengan sesudah dipasang penghalang bising utama di depan, maka terlebih dahulu dilakukan perhitungan menggunakan Maekawa *single screen barrier* dengan balkon lantai atas sebagai *barrier* satu-satunya. Geometri tersebut ditunjukkan pada **Gambar 4.8** yang mana merupakan kondisi awal ketika dilakukan pengukuran kebisingan di lantai atas.



Gambar 4.8 Desain Balkon Lantai Atas sebagai *Single Screen Barrier*

Dengan desain pada **Gambar 4.8**, menggunakan **Persamaan 2.4** dan **Persamaan 2.6**, diperoleh tabel atenuasi *barrier* tiap frekuensi yang ditunjukkan pada **Tabel 4.13**.

Tabel 4.13 Atenuasi Balkon Lantai Atas sebagai *Single Screen Barrier*

Frekuensi (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Barrier Attenuation (dB)	4.82	4.87	4.97	5.15	5.51	6.14

Dari hasil yang diperoleh pada **Tabel 4.13**, didapatkan **Tabel 4.14** yang menunjukkan nilai atenuasi tambahan pada

fasad lantai atas ketika dipasang penghalang bising di depan. Nilai tersebut diperoleh dari selisih antara nilai atenuasi *double screen barrier* dengan atenuasi balkon sebagai *single screen barrier*.

Tabel 4.14 Atenuasi Tambahan di Fasad Lantai Atas akibat Pemasangan *Single Screen Barrier* di Depan

Frekuensi (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Barrier Attenuation (dB)	9.22	11.92	14.69	17.44	20.06	22.43

Setelah itu, dapat diperoleh nilai Lsm pada fasad lantai atas setelah pemasangan penghalang bising di depan dengan mengurangkan nilai Lsm fasad hasil pengukuran dengan nilai atenuasi tambahan. Nilai Lsm pada fasad setelah pemasangan penghalang bising ditunjukkan pada **Tabel 4.15**.

Tabel 4.15 Nilai Lsm Fasad Lantai Atas Hasil Pengukuran dan Setelah Diberi *Single Screen Barrier*

Frekuensi (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Lsm Fasad hasil pengukuran (dB)	57.88	59.56	61.48	65.27	63.71	61.62
Lsm Fasad setelah <i>barrier</i> (dB)	48.66	47.64	46.79	47.83	43.65	39.19

Nilai Lsm akhir tersebut hanya memperhitungkan kebisingan dengan atenuasi *barrier* yang mencapai titik fasad bangunan saja. Untuk memperoleh nilai Lsm di dalam kelas, nilai-nilai tersebut terlebih dahulu dikurangkan dengan nilai NR dari dinding kelas lantai atas yang ditunjukkan oleh **Tabel**

4.16. Sehingga, diperoleh **Tabel 4.17** yang menunjukkan perbandingan nilai Lsm sebelum dan sesudah melewati dinding kelas/partisi ketika penghalang bising di depan telah dipasang.

Tabel 4.16 Nilai *Noise Reduction* (NR) dari Dinding Kelas/Partisi Lantai Atas

Frekuensi (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
<i>Noise Reduction</i> (dB)	5.55	3.88	3.92	6.11	6.47	7.77

Tabel 4.17 Nilai Lsm Fasad dan Kelas Lantai Atas Setelah Diberi *Single Screen Barrier*

Frekuensi (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Lsm Fasad setelah <i>barrier</i> (dB)	48.66	47.64	46.79	47.83	43.65	39.19
Lsm Kelas setelah <i>barrier</i> (dB)	43.11	43.76	42.87	41.72	37.18	31.42

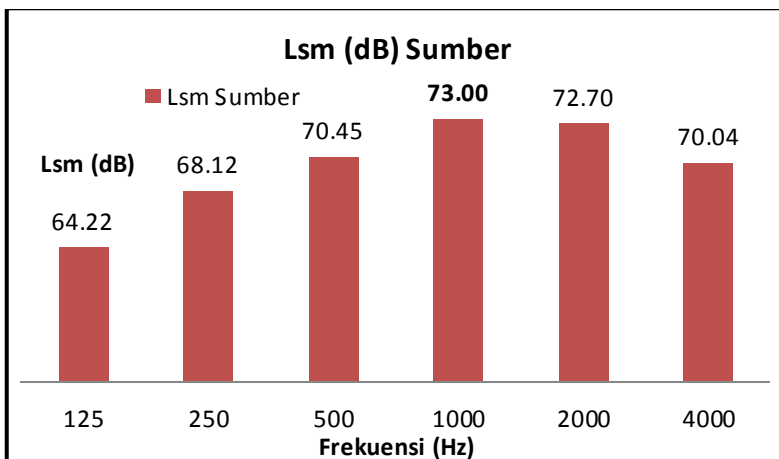
Dengan menggunakan perhitungan dBA *overall* yang sama seperti sebelumnya, didapatkan hasil Lsm akhir untuk kelas lantai atas sebesar 49,98 dBA. Nilai Lsm tersebut telah memenuhi standar baku ≤ 55 dBA dari Kepmen LH No. 48 Tahun 1996, bahkan lebih baik.

Dari semua perhitungan Maekawa yang telah dilakukan, terbukti desain penghalang bising setinggi 2,2 meter dapat mengurangi kebisingan hingga tercapai standar baku yang diinginkan. Sehingga, nilai kebisingan kedua kelas setelah dipasang penghalang bising dapat dijadikan nilai capaian dalam perancangan *noise barrier* pada simulasi 2D.

4.1.3 Perancangan *Noise Barrier* Menggunakan Metode Simulasi 2D

Setelah perancangan *noise barrier* menggunakan metode perhitungan Maekawa, kemudian dilakukan perancangan menggunakan metode simulasi 2D. Metode simulasi pada penelitian ini bukanlah metode perancangan yang terpisah sendiri dari metode Maekawa sebelumnya. Metode ini justru dilakukan untuk mendukung dan memvalidasi metode Maekawa. Namun, perbedaannya dengan Maekawa adalah simulasi 2D dapat memberi jawaban lebih banyak untuk modifikasi-modifikasi *barrier* dari segi geometri dan konfigurasi, dengan tetap bertumpu pada desain dasar dari perhitungan Maekawa.

Pengukuran kebisingan pada titik sumber telah dilakukan sebelumnya. Data pengukuran ini digunakan untuk menentukan besar kebisingan sumber yang akan digunakan dalam simulasi 2D. **Gambar 4.9** menunjukkan grafik kebisingan tiap frekuensi dari titik sumber yang telah diukur sebelumnya.



Gambar 4.9 Grafik Kebisingan Sumber dalam dB

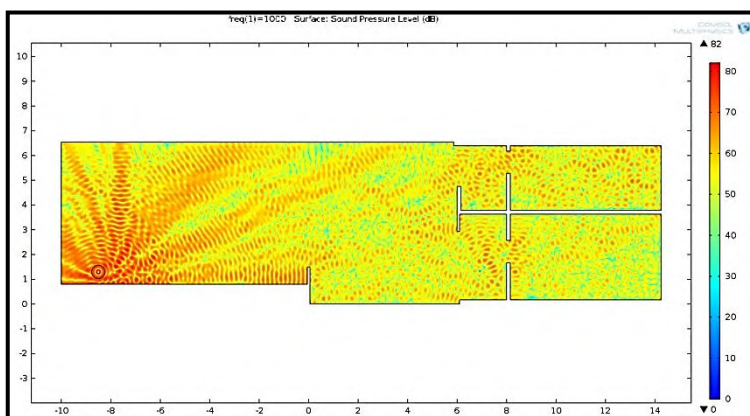
Berdasarkan grafik tersebut, dapat diketahui nilai kebisingan terbesar pada frekuensi 1000 Hz dengan nilai 73 dB. Pada akhirnya simulasi ini menggunakan nilai terbesar itu untuk

digunakan sebagai sumber. Pemilihan nilai tersebut, selain memiliki nilai dB terbesar, juga dipertimbangkan dari segi frekuensi 1000 Hz yang memiliki nilai tetap walau telah diberi pembobotan menjadi dBA. Pada simulasi ini, digunakan asumsi sumber berasal dari tengah jalan. Hal ini dikarenakan kondisi lalu lintas sesungguhnya juga menunjukkan bahwa kendaraan cenderung melintas di tengah jalan lebih sering daripada di tepi jalan. Hal itu dikarenakan tengah jalan merupakan jalur yang lebih cepat jika dibandingkan dengan tepi jalan. Kendaraan baru memilih melalui tepi jalan hanya ketika jalan dalam kondisi padat/ramai.

Dari perhitungan Maekawa sebelumnya, didapatkan nilai acuan kebisingan yang harus dicapai untuk memperoleh hasil akhir yang sesuai standar baku. Untuk kebisingan di dalam kelas lantai bawah, berdasarkan **Tabel 4.11**, hasil simulasi harus mencapai nilai sebesar 39,77 dB pada frekuensi 1000 Hz. Sedangkan untuk kebisingan di dalam kelas lantai atas, berdasarkan **Tabel 4.17**, hasil simulasi harus mencapai nilai sebesar 41,72 dB pada frekuensi 1000 Hz. Untuk mempermudah dalam melakukan perbandingan dan analisa hasil simulasi, kedua nilai tersebut dirata-rata untuk memperoleh satu nilai tunggal kebisingan. Sehingga, diperoleh nilai acuan kebisingan sebesar 40,7 dB untuk kedua kelas. Dua nilai kebisingan yang dirata-rata seperti ini diperbolehkan apabila perbedaan kebisingan keduanya tidak lebih dari 3 dBA, karena perbedaan sekecil itu tidak dapat dirasakan oleh pendengaran manusia. Dari kedua nilai acuan tersebut, dapat diketahui pula nilai *barrier attenuation* total dari penghalang bising hasil perhitungan Maekawa. Nilai tersebut didapat dengan cara mengurangkan nilai kebisingan hasil pengukuran pada **Tabel 4.7** dengan nilai kebisingan akhir di dalam kelas setelah dipasang *barrier* yang ditunjukkan pada **Tabel 4.11** dan **Tabel 4.17**. Sehingga, diperoleh nilai *barrier attenuation* total sebesar 18,63 dB untuk kelas lantai bawah dan 17,44 dB untuk kelas lantai atas pada frekuensi 1000 Hz. Jika kedua nilai tersebut dirata-rata, maka diperoleh nilai *barrier attenuation* total untuk kedua kelas sebesar 18 dB. Dari nilai

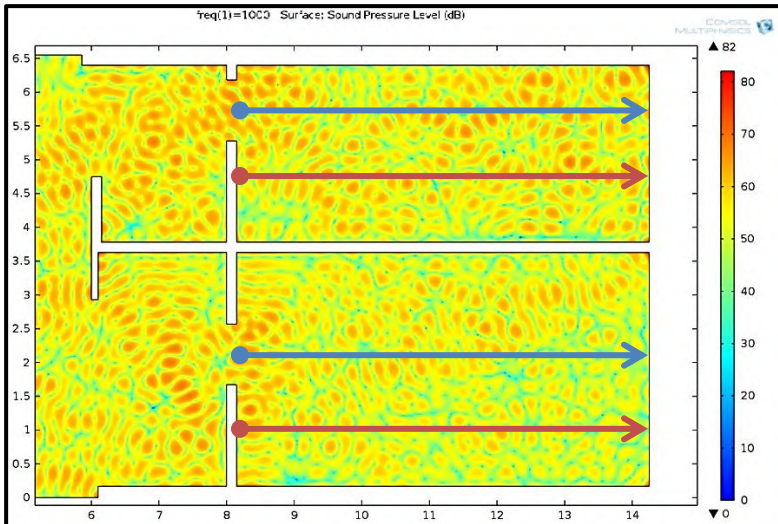
acuan tersebut, dilakukan perancangan penghalang bising dengan memodifikasi geometri yang diperlukan, sehingga nantinya akan diperoleh nilai *barrier attenuation* total yang diinginkan dan *dBA overall* yang memenuhi standar. Berikut ini akan ditampilkan dan dijelaskan hasil simulasi 2D yang telah dilakukan pada tiap perancangan.

a. Hasil Simulasi Kebisingan Sekolah Awal Sebelum Ada *Barrier*

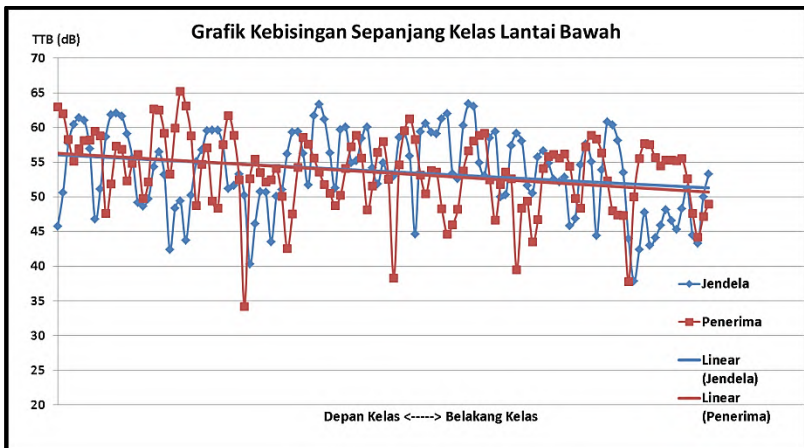


Gambar 4.10 Plot Kebisingan Sekolah Sebelum Dipasang *Barrier*

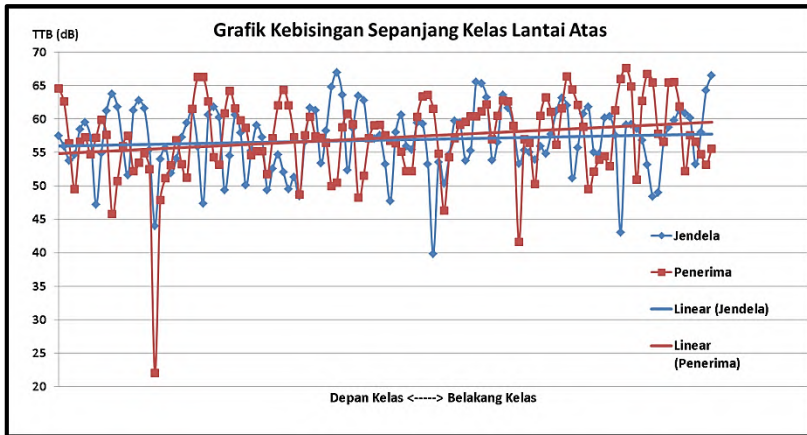
Perlu untuk mengetahui bagaimana kebisingan lalu lintas Jalan Ahmad Yani mempengaruhi lingkungan sekolah pada kondisi awal seperti sekarang ini, sehingga nantinya kita dapat lebih jelas mengetahui dampak yang diberikan oleh pemasangan *noise barrier*. Plot simulasi 2D pada **Gambar 4.10** menunjukkan keadaan awal tersebut. Terlihat jelas bahwa kebisingan lalu lintas merambat hingga ke dalam kelas, baik lantai bawah maupun atas. Sekolah pada kondisi sekarang ini sangat tidak layak dari segi kebisingan untuk lingkungan sekolah. **Gambar 4.11** menunjukkan kebisingan dari kedua kelas secara lebih dekat.



Gambar 4.11 Plot Kebisingan Kelas Sebelum Dipasang *Barrier*



Gambar 4.12 *Trendline* Kebisingan di dalam Kelas Lantai Bawah



Gambar 4.13 Trendline Kebisingan di dalam Kelas Lantai Atas

Sebelum menghitung nilai kebisingan hasil simulasi di dalam kelas, terlebih dahulu dilakukan pengamatan terhadap propagasi kebisingan di sepanjang kelas. Hal ini dilakukan untuk melihat secara lebih jelas dan kuantitatif apakah kebisingan yang melewati jendela berbeda dengan kebisingan yang melewati penghalang (tembok kelas). Pada **Gambar 4.11**, ditunjukkan garis berwarna biru yang mewakili kebisingan jendela dan garis berwarna merah yang mewakili kebisingan penghalang. Garis berwarna biru diletakkan ditengah-tengah jendela masing-masing kelas dan ditarik sepanjang kelas. Hal ini untuk mengamati kebisingan yang masuk secara langsung (*direct noise*) dengan asumsi tanpa gangguan penghalang. Garis berwarna merah diletakkan pada ketinggian 1 m dari lantai masing-masing kelas dan ditarik sepanjang kelas. Hal ini untuk mengamati kebisingan yang dirasakan oleh penerima akibat adanya tembok kelas (*indirect noise*).

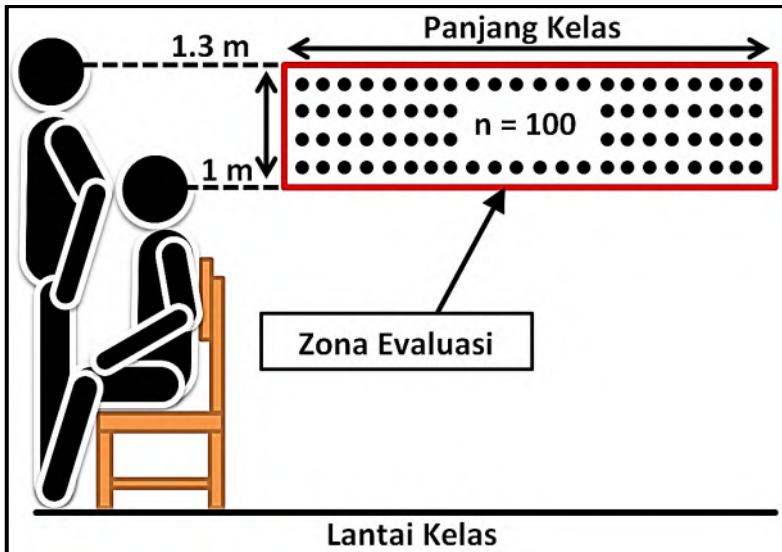
Secara teori, *direct noise* yang ditunjukkan oleh garis biru akan memiliki nilai kebisingan yang lebih besar daripada *indirect noise* yang ditunjukkan oleh garis merah. Hal ini sesuai dengan teori penghalang bising yang bersifat memantulkan dan mendifraksikan kebisingan, sehingga tercipta *shadow zone* yang memiliki kebisingan lebih rendah. Namun, **Gambar 4.12**

dan **Gambar 4.13** menunjukkan nilai kebisingan yang tidak jauh berbeda, atau dapat diartikan memiliki nilai yang relatif sama sepanjang kelas. Kedua garis linier yang ditunjukkan pada masing-masing gambar saling berhimpitan. Pada **Gambar 4.12** menunjukkan penurunan kebisingan yang berpropagasi di dalam kelas, namun tidak signifikan. Sedangkan pada **Gambar 4.13**, garis linier justru menunjukkan peningkatan kebisingan pada ujung belakang kelas. Hal ini semakin menunjukkan bahwa kebisingan di dalam kelas relatif sama pada setiap titik.

Ketidaksesuaian kebisingan di dalam kelas secara teori dapat diakibatkan oleh adanya akumulasi kebisingan akibat pemantulan di seluruh permukaan tembok kelas. Simulasi ini mengkalkulasi permukaan tembok kelas sebagai bidang pantul sempurna (tidak ada yang diserap), sehingga tidak terjadi pelemahan suara yang berarti ketika kebisingan menabrak tembok. Akumulasi ini diakibatkan adanya pertemuan antara *direct noise* dari jendela dengan *indirect noise* dari pemantulan tembok, dan pertemuan antara *indirect noise* yang berbeda dari pemantulan-pemantulan permukaan tembok kelas. Akumulasi kebisingan ini akan memiliki nilai yang signifikan apabila kebisingan-kebisingan di dalam kelas tidak memiliki perbedaan yang besar (relatif sama). Hal tersebut yang menyebabkan tidak dapat diamatinya fenomena pelemahan kebisingan akibat penghalang dan kebisingan yang terlihat homogen (merata) pada setiap titik di dalam kelas.

Dari **Gambar 4.11**, kita dapat memperkirakan nilai kebisingan yang ada di dalam kelas dengan mengamati kerapatan warna pada luasan plot dan membandingkannya dengan garis keterangan nilai warna di sebelah kanan plot. Namun, kita masih belum dapat memastikan nilai kuantitatif/angka pasti yang merepresentasikan kebisingan yang dirasakan oleh penerima di dalam kelas. Maka dari itu, dilakukan pengambilan data kebisingan pada perangkat lunak dengan metode *grid*. Metode ini dapat mengambil beberapa titik sampel dengan nilai kebisingan tertentu yang tersebar merata pada suatu zona evaluasi. Kemudian, nilai-nilai pada

zona tersebut dirata-rata menggunakan **Persamaan 2.3**, sehingga dapat diperoleh satu nilai kebisingan tunggal (L_{AV}) yang dapat mewakili zona evaluasi tersebut (**Volkovas, V., & Saliunas, D. 2015**). Pada penelitian ini, jumlah titik sampel yang digunakan adalah 100 titik. Zona evaluasi yang diamati adalah sepanjang kelas dengan ketinggian antara 1 sampai 1,3 meter dari lantai kelas. Ketinggian tersebut didasarkan pada ketinggian telinga rata-rata subjek penerima kebisingan (siswa-siswi sekolah SD) ketika duduk dan berdiri. Skema zona evaluasi tersebut ditunjukkan pada **Gambar 4.14**.



Gambar 4.14 Skema Evaluasi Nilai Kebisingan dari Plot Hasil Simulasi

Hasil evaluasi dari simulasi menunjukkan nilai TTB rata-rata sebesar 56,9 dB untuk kelas lantai bawah. Sedangkan, untuk kelas lantai atas menunjukkan nilai TTB rata-rata sebesar 58,73 dB. Kedua nilai tersebut masih tergolong bising karena masih jauh dari nilai 40,7 dB yang mana merupakan acuan tercapainya standar baku yang diinginkan. Jika dibandingkan

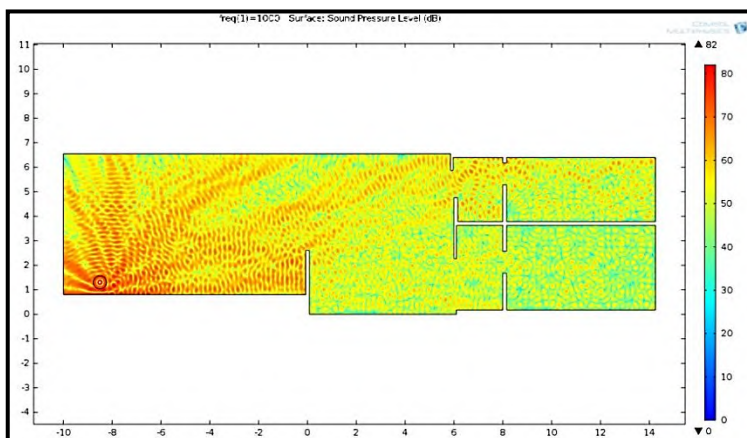
dengan hasil pengukuran di dalam kelas pada **Tabel 4.7**, untuk frekuensi yang sama (1000 Hz), terlihat perbedaan nilai kebisingan. Nilai kebisingan hasil pengukuran bernilai lebih besar daripada hasil simulasi dengan selisih 1,46 dB untuk kelas lantai bawah dan 0,43 dB untuk kelas lantai atas. Perbedaan ini dikarenakan ketidaksamaan kondisi lingkungan antara kenyataan dan simulasi, sehingga terjadi perbedaan cara suara berpropagasi, saat melalui medium udara maupun saat menabrak suatu struktur bangunan. Simulasi lebih bersifat melakukan penyederhanaan terhadap kompleksitas yang ada pada lingkungan nyata. Penyederhanaan tersebut antara lain, kondisi udara yang dianggap homogen pada setiap titik, dalam hal tekanan udara, suhu, dan densitas, serta sifat tanah dan struktur bangunan yang dianggap bersifat memantulkan sempurna. Padahal kenyataannya, tekanan udara, suhu, dan densitas berubah pada lokasi yang berbeda dan pada ketinggian yang berbeda. Tembok bangunan dan tanah juga tidak sepenuhnya memantulkan suara, ada beberapa yang juga diserap atau melalui struktur tersebut. Namun, jika hasil yang diperoleh dilihat dari penyederhanaan tersebut, perbedaannya kecil dengan nilai dibawah 1,5 dB. Jadi, simulasi ini dapat diartikan mewakili kondisi lingkungan dan dapat digunakan sebagai evaluasi desain penghalang bising.

b. Hasil Simulasi dengan Desain *Barrier* Lebih Rendah dan Penambahan Fasad *Screen*

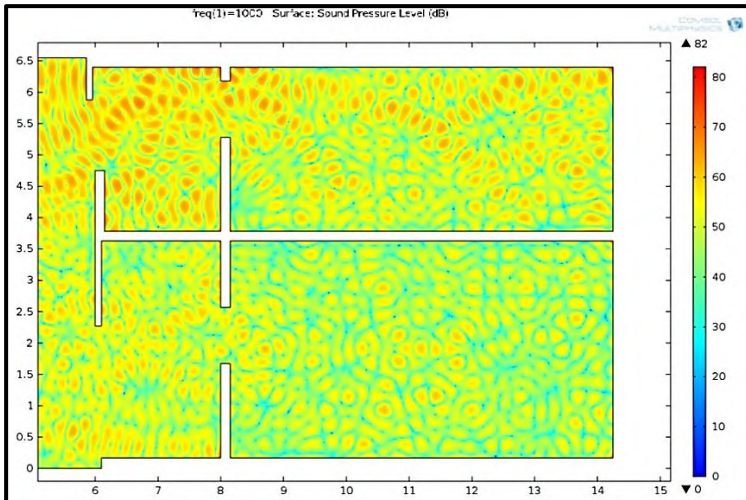
Pada bagian ini, mulai dilakukan modifikasi untuk konfigurasi *barrier* dengan menambahkan *screen* pada fasad bangunan sekolah lantai bawah maupun atas. Modifikasi ini dilakukan untuk mencapai nilai kebisingan yang lebih rendah dari sebelumnya. Berdasarkan desain dari perhitungan Maekawa sebelumnya, yang juga dipertimbangkan dari aspek dominansi visual, digunakan ketinggian *noise barrier* utama setinggi 2,2 meter. Ketinggian ini merupakan ketinggian maksimal yang diperbolehkan oleh standar dominansi visual pada kasus sekolah tersebut. Namun, modifikasi ini dilakukan

untuk membuktikan apakah ketinggian *barrier* utama dapat dikurangi lagi dengan hasil reduksi bising yang sama akibat adanya penambahan *screen*. Pada simulasi 2D, dilakukan 3 jenis modifikasi dengan merubah panjang *screen* dalam menutupi ketinggian bingkai jendela dari atas. Ketiga perancangan tersebut menggunakan ketinggian *barrier* utama setinggi 1,8 meter, lebih rendah dari yang sebelumnya pada perhitungan Maekawa setinggi 2,2 meter. Hal ini dilakukan untuk mengetahui apakah ketinggian *barrier* yang lebih rendah tetap dapat mengatasi kebisingan dengan adanya penambahan *screen* dengan keuntungan pandangan yang lebih baik.

- **Screen Menutupi Sepertiga Tinggi Bingkai Jendela**



Gambar 4.15 Plot Kebisingan Sekolah dengan *Screen* Menutupi Sepertiga Tinggi Bingkai Jendela

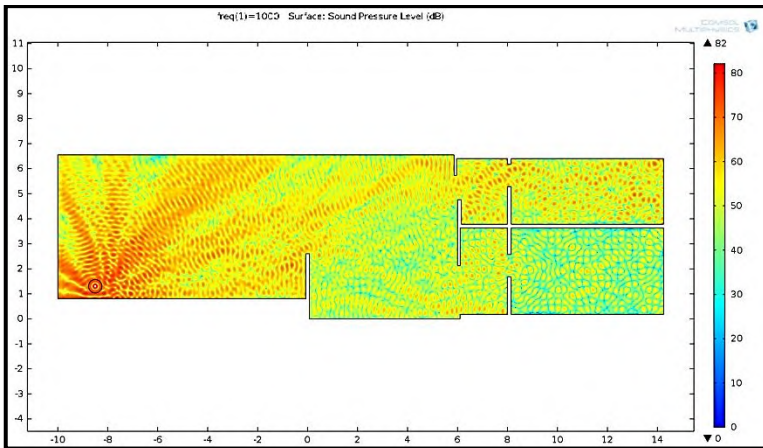


Gambar 4.16 Plot Kebisingan Kelas dengan *Screen* Menutupi Seperti Tinggi Bingkai Jendela

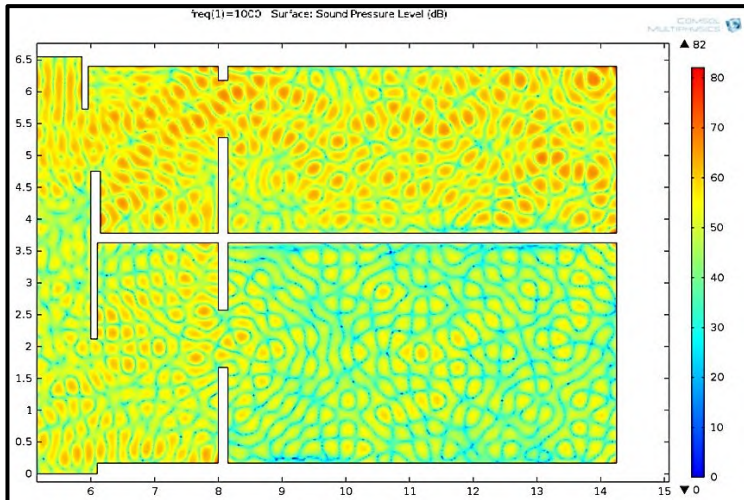
Simulasi dengan konfigurasi ini menunjukkan nilai yang lebih baik daripada ketika tidak diberi penghalang bising. Evaluasi dari simulasi menunjukkan nilai TTB rata-rata sebesar 52,7 dB untuk kelas lantai bawah. Terjadi atenuasi kebisingan akibat penghalang sebesar 5,66 dB jika dibandingkan dengan kebisingan hasil pengukuran. Berkurangnya ketinggian *barrier* utama dapat ditoleransi dengan adanya penambahan *screen*, sehingga ketinggian *screen* dapat menghalangi jalannya gelombang suara yang tidak bisa dihentikan oleh ketinggian *barrier* yang lebih pendek. Hal ini hampir sama seperti cara kerja *double screen* dari Maekawa. Hasil yang lebih baik juga ditunjukkan oleh kelas lantai atas. Hasil evaluasi menunjukkan nilai TTB rata-rata sebesar 55,83 dB dan kebisingan berkurang sebesar 3,33 dB jika dibandingkan dengan hasil pengukuran. Hal ini dapat dikarenakan penambahan geometri *screen* dari atas atap bangunan memotong jalur propagasi kebisingan dari sumber. Jalur propagasi kebisingan yang sebelumnya mengenai langit-

langit balkon dan memantul masuk ke dalam kelas lebih dapat dikurangi. Namun, kedua nilai hasil evaluasi tersebut masih belum mendekati acuan 40,7 dB untuk mencapai standar kebisingan yang diinginkan, sehingga desain penghalang perlu untuk dimodifikasi kembali.

- **Screen Menutupi Setengah Tinggi Bingkai Jendela**



Gambar 4.17 Plot Kebisingan Sekolah dengan *Screen* Menutupi Setengah Tinggi Bingkai Jendela

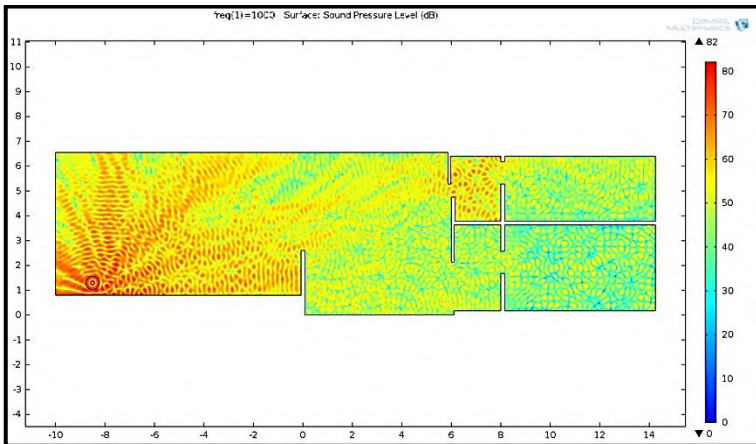


Gambar 4.18 Plot Kebisingan Kelas dengan *Screen* Menutupi Setengah Tinggi Bingkai Jendela

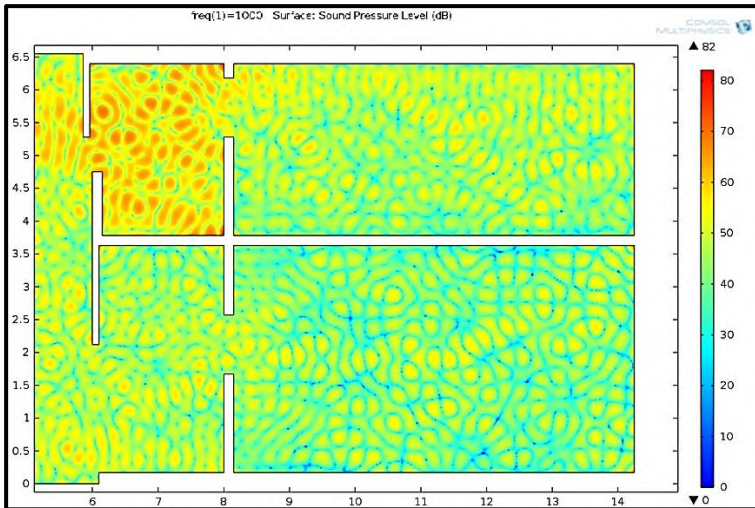
Simulasi menunjukkan bahwa konfigurasi *screen* menutupi setengah tinggi bingkai jendela memiliki hasil yang lebih baik untuk kelas lantai bawah. Namun, kasus yang berbeda justru terjadi pada kelas lantai atas, yang mana memiliki hasil yang lebih buruk daripada konfigurasi *screen* menutupi 1/3 tinggi bingkai jendela. Untuk kelas lantai bawah, penambahan *screen* justru semakin banyak menghalangi jalur propagasi kebisingan, yang berdampak pada pengurangan nilai kebisingan. Evaluasi dari simulasi menunjukkan nilai TTB rata-rata sebesar 51,57 dB untuk kelas lantai bawah. Nilai TTB tersebut masih belum mencapai nilai 40,7 dB, namun memiliki nilai yang lebih baik dari geometri sebelumnya. Untuk kelas lantai atas, evaluasi dari simulasi menunjukkan nilai TTB rata-rata sebesar 57,36 dB, kebisingan meningkat daripada sebelumnya. Hal ini dikarenakan ujung *screen* yang mendifraksikan kebisingan menjadi sumber baru yang terletak tepat di depan jendela. Kebisingan dengan konfigurasi *screen* 1/3 jendela sebelumnya dapat memotong jalur propagasi dan merefleksikan suara hanya

pada ruang balkon saja, namun dengan konfigurasi *screen* 1/2 jendela, *screen* justru mendifraksikan kebisingan masuk ke dalam kelas. Sehingga, konfigurasi ini menyebabkan penurunan nilai reduksi bising. Perlu dilakukan modifikasi kembali untuk *screen* lantai atas karena hasil evaluasi masih jauh dari nilai acuan 40,7 dB.

- **Screen Menutupi Keseluruhan Jendela Kelas Lantai Atas dan Setengah Tinggi Bingkai Jendela Kelas Lantai Bawah**



Gambar 4.19 Plot Kebisingan Sekolah dengan *Screen* Menutupi Keseluruhan Jendela Kelas Lantai Atas dan Setengah Tinggi Bingkai Jendela Kelas Lantai Bawah

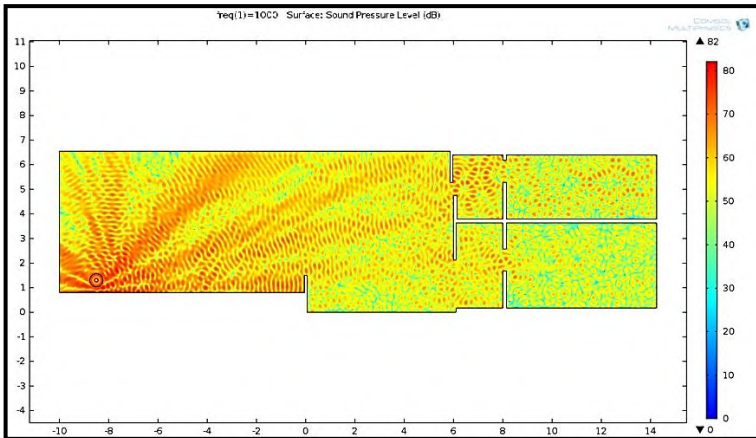


Gambar 4.20 Plot Kebisingan Kelas dengan *Screen* Menutupi Keseluruhan Jendela Kelas Lantai Atas dan Setengah Tinggi Bingkai Jendela Kelas Lantai Bawah

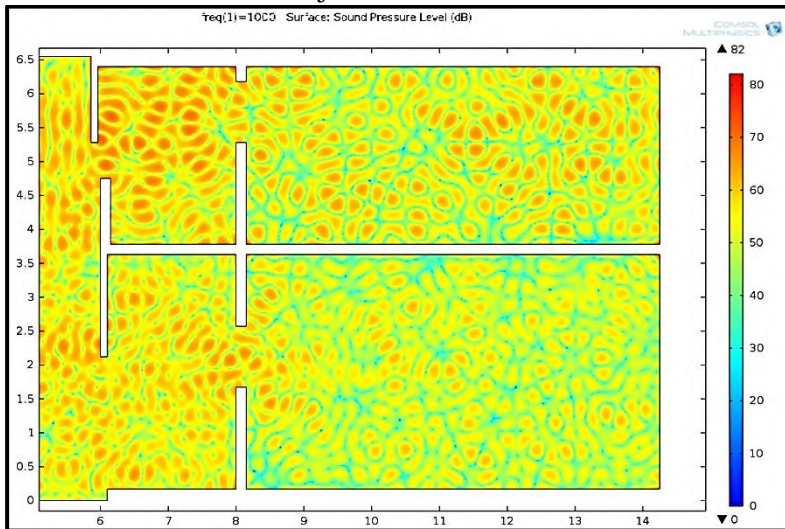
Simulasi menunjukkan hasil yang lebih baik untuk konfigurasi *screen* seperti ini, pada kelas lantai bawah maupun atas. *Screen* pada kelas lantai bawah memiliki geometri yang sama dengan sebelumnya, yaitu menutupi setengah tinggi jendela dari atas. Geometri ini tidak dirubah lagi karena, selain telah menghasilkan nilai TTB rata-rata yang lebih baik, panjang *screen* ini apabila ditambah lagi akan menghalangi ruang kepala pada jalan di gedung lantai bawah. Evaluasi dari simulasi menunjukkan nilai TTB rata-rata sebesar 48,75 dB untuk kelas lantai bawah dengan total *barrier attenuation* sebesar 9,61 dB. Nilai *barrier attenuation* diperoleh dengan mengurangi nilai TTB hasil pengukuran dengan nilai TTB hasil simulasi. Nilai tersebut cukup mendekati tercapainya standar baku TTB *overall* 55 dBA untuk frekuensi 1000 Hz dengan nilai *barrier attenuation* sebesar 18 dB. Hal tersebut didasarkan pada simulasi 2D yang mengasumsikan jendela sebagai lubang,

sehingga tidak ikut memperhitungkan reduksi bising yang mungkin ditimbulkan akibat geometri jendela kaca dan ventilasi pada dinding kelas/partisi. Kelas lantai atas telah menunjukkan hasil yang relatif sama dengan geometri *screen* atas menutupi keseluruhan tinggi jendela. Dengan geometri ini, *screen* dapat menghalangi seluruh jalur propagasi kebisingan yang mungkin masuk ke dalam kelas melalui jendela. Terlihat juga bahwa konfigurasi ini dapat menjebak kebisingan pada daerah balkon. Evaluasi dari simulasi menunjukkan nilai TTB rata-rata sebesar 48,88 dB untuk frekuensi 1000 Hz dengan total *barrier attenuation* sebesar 10,28 dB. Nilai ini juga hanya mendekati tercapainya standar baku TTB *overall* 55 dBA untuk frekuensi 1000 Hz. Kekurangan dari konfigurasi *screen* ini adalah berkurangnya pencahayaan alami yang diperoleh ketika siang hari dan tertutupnya pemandangan dari lantai atas ke jalan raya di depan. Hal ini dapat diatasi dengan *screen* berupa jendela kaca jenis *double glazed window* untuk tercapainya aspek kebisingan dan pencahayaan.

Penambahan geometri *screen* pada fasad seperti di atas telah terbukti memberi efek sebagai penghalang bising. Namun, muncul pertanyaan jika penggunaan *screen* tidak dikonfigurasi bersamaan dengan *noise barrier* utama. Maka dari itu, dilakukan juga simulasi 2D untuk mencoba efek yang terjadi pada kebisingan di sekolah jika menggunakan *screen* saja.



Gambar 4.21 Plot Kebisingan Sekolah dengan Penggunaan *Screen Saja*



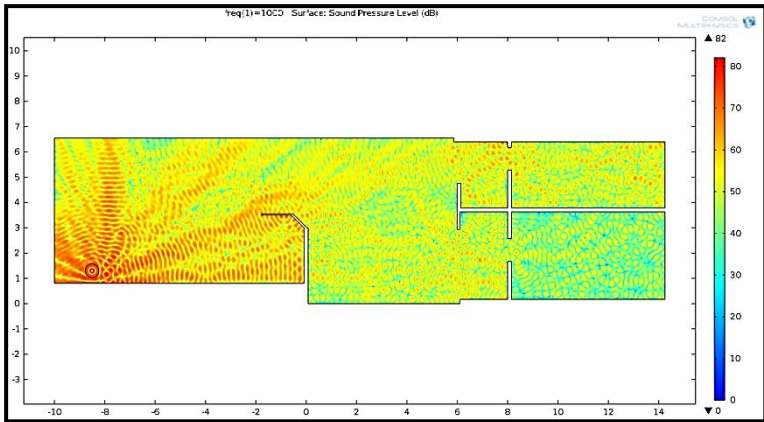
Gambar 4.22 Plot Kebisingan Kelas dengan Penggunaan *Screen Saja*

Jika dibandingkan dengan **Gambar 4.11**, plot simulasi dengan penggunaan *screen* saja pada **Gambar 4.22** menunjukkan

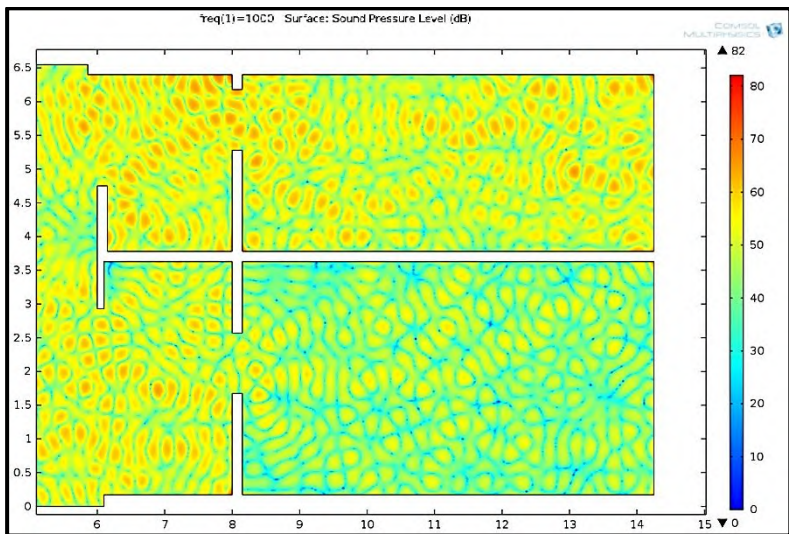
pengurangan nilai TTB pada titik dalam kelas, lantai bawah maupun atas. Keduanya memberikan nilai pengurangan yang relatif sama. Evaluasi dari simulasi menunjukkan nilai TTB rata-rata pada titik dalam kelas lantai bawah sebesar 55,55 dB untuk frekuensi 1000 Hz dengan nilai *barrier attenuation* sebesar 2,81 dB. Nilai TTB ini belum dapat mendekati standar baku yang diperlukan. Untuk kelas lantai atas, diperoleh nilai TTB rata-rata sebesar 58,18 dB untuk frekuensi 1000 Hz dengan nilai *barrier attenuation* sebesar 0.98 dB. Nilai ini juga belum dapat mendekati nilai standar baku yang ingin dicapai. Dengan kata lain, penggunaan *screen* pada fasad bangunan saja tidak cukup untuk mengatasi kebisingan pada kedua kelas. Maka dari itu, tetap diperlukan kehadiran tembok sebagai penghalang bising utama. Namun, dari simulasi ini dapat dibuktikan bahwa penambahan *screen* dapat meningkatkan atenuasi dari penghalang bising menjadi lebih optimal daripada hanya menggunakan penghalang tembok saja.

c. Simulasi dengan Desain *Barrier* sebagai Tempat Berteduh (*Shelter*)

Desain ini mencoba merubah kesan *barrier* sebagai tembok tinggi yang mendominasi visual dan merusak pemandangan. Kesan tersebut dapat dirubah dengan cara memberikan fungsi lain dari tembok penghalang. Pada simulasi ini, *barrier* dicoba untuk difungsikan sebagai peneduh (*shelter*). Pengalihan fungsi ini dapat menyamarkan dominansi visual yang diakibatkan oleh tembok *barrier* yang tinggi, namun dengan tetap memanfaatkan fungsi *barrier* sebagai penghalang bising. Berikut adalah desain *shelter* yang dibuat pada simulasi ini. *Shelter* tersebut memiliki geometri tinggi 2,7 meter dengan panjang atap 1,7 meter dengan ketebalan 5 cm.



Gambar 4.23 Plot Kebisingan Sekolah dengan *Barrier* sebagai Tempat Berteduh (*Shelter*)



Gambar 4.24 Plot Kebisingan Kelas dengan *Barrier* sebagai Tempat Berteduh (*Shelter*)

Simulasi menunjukkan hasil yang lebih baik jika dibandingkan dengan penggunaan geometri *barrier* biasa.

Evaluasi dari simulasi meunjukkan nilai TTB rata-rata sebesar 48,38 dB untuk kelas lantai bawah dan 56 dB untuk kelas lantai atas. Hasil untuk kelas lantai bawah hampir dapat mencapai nilai standar yang diharapkan, yaitu 40,7 dB pada frekuensi 1000 Hz dengan nilai *barrier attenuation* sebesar 9,98 dB, sedikit lebih baik daripada konfigurasi *barrier* dengan *screen*. Hal ini dikarenakan atap *shelter* yang mengarah ke arah sumber, sehingga menjebak propagasi kebisingan dan menciptakan wilayah *shadow zone* yang lebih besar daripada *barrier* biasa pada sisi sekolah. *Shadow zone* yang lebih besar diperoleh dari menjauhnya titik difraksi *barrier*, yaitu ujung atap shelter, dari sisi sekolah. Hal tersebut hampir sama seperti yang terjadi pada penambahan geometri *topping* pada puncak *barrier*. Begitu juga dengan kelas lantai atas, akibat adanya penambahan *topping* berupa atap *shelter*, wilayah *shadow zone* meluas hingga dapat menjangkau kelas lantai atas. Namun, nilai TTB rata-rata untuk kelas lantai atas belum dapat mencapai standar baku yang diinginkan dengan nilai *barrier attenuation* hanya sebesar 3,16 dB. Namun, penambahan *screen* pada fasad kelas lantai atas dapat menjadi solusi atas kekurangan tersebut.

4.2 Pembahasan

Sebelum melakukan perancangan penghalang bising untuk SDN Siwalankerto I Surabaya, terlebih dahulu dilakukan pengukuran kebisingan siang-malam pada lingkungan sekolah. Sumber kebisingan berasal dari lalu lintas jalan Ahmad Yani Surabaya. Pengukuran titik sumber di tepi jalan ,menunjukkan angka kebisingan siang-malam (Lsm) sebesar 83 dBA dengan karakteristik kebisingan yang tersebar merata di tiap frekuensi ketika dirubah dalam satuan dB. Untuk pengukuran di titik penerima dalam kelas, diperoleh nilai Lsm sebesar 68,09 dBA untuk kelas lantai bawah dan 68,62 dBA untuk kelas lantai atas. Hasil pengukuran kebisingan secara jelas menunjukkan bahwa SDN Siwalankerto I tidak memenuhi standar baku tingkat kebisingan, yaitu sebesar 55 dBA.

Dari grafik **Gambar 4.3**, terlihat kebisingan berfrekuensi rendah cenderung mendominasi kelas lantai bawah, sedangkan kebisingan berfrekuensi tinggi cenderung mendominasi kelas lantai atas.

Hasil perhitungan Maekawa menunjukkan hasil desain yang telah memenuhi standar baku kebisingan, yaitu sebuah penghalang bising di depan setinggi 2,2 meter dengan total *barrier attenuation* sebesar 18 dB. *Barrier attenuation* sebesar ini dapat menekan kebisingan di dalam kelas hingga 49,98 dBA. Namun, ketinggian ini masih dapat dikurangi lagi untuk meminimalisir dominansi pandangan dari *barrier*, dengan catatan memiliki hasil reduksi kebisingan yang sama atau bahkan lebih baik. Hal tersebut dapat dilakukan apabila kita memberi penambahan *screen* atau geometri-geometri tertentu pada struktur bangunan maupun penghalang bising. Hal ini jelas tidak dapat dilakukan oleh metode Maekawa, yang mana hanya terbatas pada desain penghalang bising utama, baik *single screen* maupun *double screen*. Maka dari itu, simulasi 2D lebih memberikan kebebasan dalam mendesain penghalang bising yang dapat disesuaikan secara detail dengan kondisi sesungguhnya. Kita juga dapat mengamati secara langsung propagasi kebisingan saat melewati desain penghalang bising yang kita buat. Berdasarkan pengamatan di lapangan, kendaraan cenderung lebih banyak melewati daerah tengah jalan, sehingga simulasi menggunakan asumsi sumber bising berasal dari tengah jalan.

Dalam kasus kebisingan di SDN Siwalankerto I Surabaya, diperoleh rancangan akhir dengan hasil terbaik berupa penghalang bising utama setinggi 1,8 meter dengan penambahan *screen* pada fasad bangunan lantai atas dan lantai bawah. *Screen* pada lantai bawah cukup menutupi setengah luas bukaan jendela kelas. Hal ini dikarenakan sebagian besar kebisingan dapat dihalangi oleh penghalang utama sebelum berpropagasi ke daerah lantai bawah. Sehingga, penambahan setengah *screen* pada fasad bangunan cukup untuk menanggulangi kebisingan yang masih dapat melewati puncak penghalang akibat ketinggian yang dikurangi. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan *screen* secara tidak

langsung memperluas daerah *shadow zone* pada sekolah lantai bawah. Dari semua hasil plot simulasi, semua sama-sama menunjukkan bahwa kebisingan cenderung naik ke lantai atas akibat melewati penghalang bising utama. Hal ini merupakan fenomena difraksi pada puncak penghalang bising. Fenomena ini sebenarnya menguntungkan bagi penerima di lantai bawah, karena difraksi tersebut dapat menciptakan *shadow zone*. Namun, kasus menjadi berbeda ketika terdapat lagi penerima di lantai atas. Secara geometri juga terlihat bahwa jalur propagasi bising menuju lantai atas sangat terbuka. Selain itu, hasil pengukuran kebisingan menunjukkan bahwa kebisingan berfrekuensi tinggi juga cenderung berpropagasi ke lantai atas. Hal ini yang menjadikan fenomena difraksi pada puncak *barrier* menjadi sangat merugikan karena memindahkan sebagian bising yang terhalang menuju ke lantai atas. Untuk mengatasi hal tersebut, desain akhir menunjukkan hasil terbaik dapat diperoleh ketika *screen* yang ditambahkan dapat menutupi keseluruhan luas bukaan jendela kelas lantai atas. Hal tersebut dilakukan untuk menutup seluruh jalur propagasi kebisingan untuk masuk ke dalam kelas. Kebisingan berfrekuensi tinggi juga dikenal dapat masuk melalui celah sempit, sehingga penambahan *screen* memang seharusnya menutupi keseluruhan luas bukaan jendela. Perancangan sekaligus pengamatan seperti ini tidak dapat dilakukan hanya melalui cara perhitungan saja. Evaluasi dari simulasi menunjukkan nilai TTB rata-rata sebesar 48,75 dB untuk kelas lantai bawah dan 48,88 dB untuk kelas lantai atas. Kedua nilai tersebut cukup mendekati nilai 40,7 dB pada frekuensi 1000 Hz, yang mana merupakan syarat terpenuhinya standar baku dBA *overall* sebesar 55 dBA. Namun, kedua nilai tersebut sebenarnya dapat menjadi lebih rendah lagi. Hal tersebut dikarenakan adanya ketidaksamaan desain geometri yang digunakan pada masing-masing metode, dimana keterbatasan dari perhitungan Maekawa yang hanya dapat melakukan pendekatan secara *single screen* dan *double screen barrier*, dan kelebihan dari metode simulasi yang dapat menunjukkan hasil dengan desain geometri yang mendekati keadaan sekolah sesungguhnya. Namun, simulasi 2D juga

memiliki kelemahan, yang mana tidak dapat menggambarkan geometri jendela kaca dan ventilasi pada dinding kelas/partisi, sehingga pada simulasi hanya digambarkan (diasumsikan) dalam bentuk lubang jendela. Asumsi ini digunakan mengingat simulasi berbasis BEM hanya menggambarkan geometri batas-batas yang bersifat memantulkan suara, sehingga hanya geometri yang berupa tembok/beton (bersifat reflektif) saja yang dijadikan pertimbangan. Apabila nilai reduksi kebisingan akibat jendela kelas dapat diterapkan pada simulasi dan tidak diasumsikan berlubang, maka nilai kebisingan yang lebih rendah mungkin dapat diamati. Nilai reduksi kebisingan dari jendela kelas (saja) tentu dapat diperoleh dengan cara pengukuran, hanya saja tidak dilakukan pengukuran yang berkaitan dengan hal tersebut. Sehingga, tidak ada data yang secara spesifik mengukur nilai reduksi kebisingan akibat jendela kelas saja. Poin inilah yang menyebabkan perbedaan antara hasil perhitungan Maekawa dengan hasil simulasi 2D. Namun, jika dilihat dari total *barrier attenuation* yang dihasilkan, maka kombinasi antara penghalang dan *screen* cukup mendekati nilai yang diperlukan untuk mencapai standar baku. Dengan mengurangi nilai kebisingan hasil pengukuran di kelas pada **Tabel 4.7** dengan nilai kebisingan hasil simulasi pada masing-masing kelas, diperoleh nilai *barrier attenuation* total sebesar 9,61 dB untuk kelas lantai bawah dan 10,28 dB untuk kelas lantai atas. Walaupun hasil *barrier attenuation* akhir yang diperoleh dari simulasi kurang memenuhi, kedua nilai tersebut cukup mendekati nilai *barrier attenuation* total acuan sebesar 18 dB untuk memenuhi standar baku 55 dBA. Hal tersebut dikarenakan *barrier attenuation* yang diperoleh dari perhitungan Maekawa dapat menekan nilai kebisingan *overall* akhir hingga 50,49 dB untuk kelas lantai bawah dan 49,98 dB untuk kelas lantai atas, yang mana kedua nilai masih jauh dibawah 55 dBA. Sehingga, masih terdapat ruang toleransi yang memperbolehkan kebisingan untuk sedikit meningkat lagi sebelum melewati nilai standar 55 dBA. Hal ini yang mendasari kesimpulan bahwa hasil simulasi terakhir dengan desain penghalang utama setinggi 1,8 m dengan penambahan *screen*

menutupi keseluruhan jendela kelas lantai atas dan setengah tinggi bingkai jendela kelas lantai bawah dapat memenuhi standar 55 dBA.

Walaupun standar kebisingan pada simulasi dapat diartikan tercapai, penggunaan *screen* bisa mengurangi masuknya cahaya matahari sebagai pencahayaan alami dalam kelas. Maka dari itu, disarankan untuk menggunakan bahan yang tembus pandang (transparan) sebagai *screen*, seperti kaca jenis *double glaze*, *fiberglass*, atau kaca yang tebal, untuk tercapai aspek kebisingan dan pencahayaan sekaligus. Bahan yang digunakan juga tidak harus transparan, tidak tembus pandang tidak apa-apa asalkan tetap dapat mentransmisikan cahaya. Hasil yang lebih baik lagi mungkin dapat tercapai jika jendela sekolah diganti dengan jendela kaca tertutup yang memiliki sekat udara di dalamnya. Sekat udara ini dapat membantu meredam kebisingan lebih jika dibandingkan dengan kaca tunggal biasa.

Simulasi berikutnya membuktikan apakah kebisingan standar dapat tercapai apabila dilakukan pemasangan fasad *screen* saja tanpa pemasangan *barrier* utama. Hasil simulasi menunjukkan pengurangan nilai kebisingan dalam kelas, namun hasil tersebut masih jauh dari standar baku yang diharapkan, sehingga penggunaan *barrier* utama masih sangat penting dalam kasus sekolah ini. Namun, penggunaan *screen* terbukti dapat meningkatkan nilai *barrier attenuation*.

Pada akhir simulasi, penelitian ini ingin mencoba merubah kesan *barrier* sebagai tembok tinggi yang merusak pandangan/visual. Cara yang dilakukan adalah dengan mengalihkan fungsi *barrier* sebagai peneduh (*shelter*). Pengalihan fungsi ini dapat menyamarkan dominansi visual dari tembok *barrier* dengan tetap memperoleh manfaatnya sebagai penghalang bising. Hasil menunjukkan bahwa cara ini efektif dalam mengurangi kebisingan dan layak digunakan di lingkungan sekolah. Namun, desain peneduh ini hanya berupa saran tambahan apabila *barrier* yang nantinya dipasang dirasa masih kurang mampu mengendalikan kebisingan dan masih mendominasi pandangan.

Pada akhirnya, dapat dikatakan bahwa solusi desain penghalang bising yang sesuai standar dapat dicapai melalui penggunaan penghalang bising utama saja setinggi 2,2 meter, atau penghalang bising utama yang lebih rendah setinggi 1,8 meter bersamaan dengan penggunaan *screen* pada bagian fasad bangunan. Untuk meningkatkan lagi kemampuan *barrier* dalam mengurangi kebisingan, dapat dilakukan opsi pengalihan fungsi *barrier* depan sebagai tempat berteduh atau *shelter*. Konfigurasi antara *noise barrier* depan dan penggunaan *screen* pada fasad bangunan dapat menjadi solusi yang terbukti efektif untuk mengurangi kebisingan akibat lalu lintas di SDN Siwalankerto I Surabaya.

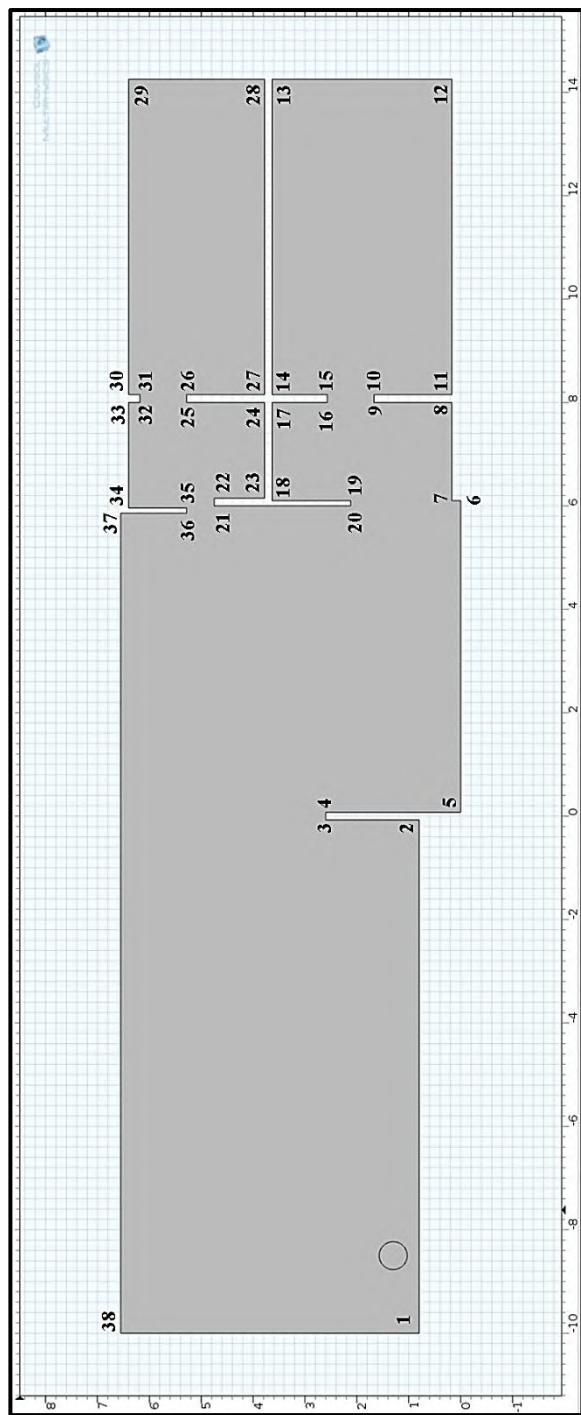
“Halaman ini memang dikosongkan”

LAMPIRAN

1. Geometri Desain 2D (Koordinat)

No. Point	X (meter)	Y (meter)
1	-10	0.8
2	-0.075	0.8
3	-0.075	2.6
4	0.075	2.6
5	0.075	0
6	6.1	0
7	6.1	0.17
8	8	0.17
9	8	1.67
10	8.15	1.67
11	8.15	0.17
12	14.25	0.17
13	14.25	3.63
14	8.15	3.63
15	8.15	2.57
16	8	2.57
17	8	3.63
18	6.1	3.63
19	6.1	2.12

20	6	2.12
21	6	4.75
22	6.15	4.75
23	6.15	3.78
24	8	3.78
25	8	5.28
26	8.15	5.28
27	8.15	3.78
28	14.25	3.78
29	14.25	6.4
30	8.15	6.4
31	8.15	6.18
32	8	6.18
33	8	6.4
34	5.96	6.4
35	5.96	5.28
36	5.86	5.28
37	5.86	6.55
38	-10	6.55



2. Hasil Pengukuran Kebisingan

a. Titik Pengukuran Sumber

SIANG		
Pukul	Leq	10 ^A (0.1*Leq)
06.00 - 07.00	81.99119617	158168362
07.00 - 08.00	82.20344685	166090458.8
08.00 - 09.00	81.93599156	156170555.8
09.00 - 10.00	81.00342566	125991882.7
10.00 - 11.00	82.27161945	168718204.7
11.00 - 12.00	81.61580234	145070876
12.00 - 13.00	81.50703684	141482812.4
13.00 - 14.00	80.88024351	122468486.6
14.00 - 15.00	80.81211726	120562356
15.00 - 16.00	81.22436615	132567362.2
16.00 - 17.00	81.21163018	132179169.2
17.00 - 18.00	80.85622807	121793134.2
18.00 - 19.00	78.9672181	78835497.09
19.00 - 20.00	80.24346317	105766057.7
20.00 - 21.00	80.32120148	107676306.1
21.00 - 22.00	80.35236441	108451719.2
Total		2091993241
Ls = 10 log 1/16		81.16440294

MALAM			10 ^A (0.1*Leq)
Pukul	Leq		
22.00 - 23.00	80.7373241		118503836.3
23.00 - 00.00	80.78191555		119726849.7
00.00 - 01.00	81.0616154		127691368.1
01.00 - 02.00	79.12442154		81741415.53
02.00 - 03.00	79.22494878		83655573
03.00 - 04.00	78.43176822		69691020.19
04.00 - 05.00	80.2758626		106558048.8
05.00 - 06.00	81.59777355		144469894.4
Total			852038006
Lm = 10 log 1/8			80.2736898

SIANG-MALAM		
Lsm = 10 Log 1/24 (16*10 ^A (0.1*Ls) + 8*10 ^A (0.1*(Lm+5))))		
82.9979539		

b. Titik Pengukuran Fasad Lantai Bawah

MALAM			SIANG		
Pukul	Leq	$10^{(0.1*Leq)}$	Pukul	Leq	$10^{(0.1*Leq)}$
22.00 - 23.00	74.53017687	28380346.05	06.00 - 07.00	76.09292304	40671698.01
23.00 - 00.00	74.70698704	29559610.28	07.00 - 08.00	78.2696871	67138047.98
00.00 - 01.00	73.37856117	21769884.12	08.00 - 09.00	75.82857909	38269951.27
01.00 - 02.00	72.07054933	16108493.74	09.00 - 10.00	74.92015482	31046702.61
02.00 - 03.00	71.36842682	13703852.71	10.00 - 11.00	74.73454628	29747784.62
03.00 - 04.00	71.33273074	13591677.9	11.00 - 12.00	75.71281299	37263298.8
04.00 - 05.00	72.41788159	17449707.82	12.00 - 13.00	76.15441515	41251668.15
05.00 - 06.00	74.59479955	28805800.95	13.00 - 14.00	74.74032517	29787394.5
Total		169369373.6	14.00 - 15.00	74.85969007	30617449.24
Lm = 10 log 1/8		73.25744894	15.00 - 16.00	74.75805797	29909268.91
SIANG-MALAM			16.00 - 17.00	75.01791749	31753510.73
$L_{sm} = 10 \log \frac{1}{24} (16 * 10^{(0.1 * L_s)} + 8 * 10^{(0.1 * (L_m + 5))})$			17.00 - 18.00	74.1420494	25954038.23
76.5121849			18.00 - 19.00	73.05790032	20220413.46
			19.00 - 20.00	74.38348164	27437729.09
			20.00 - 21.00	75.49912418	35474184.3
			21.00 - 22.00	73.60148689	22916521.07
			Total		539459661
			$L_s = 10 \log 1/16$		75.27838992

c. Titik Pengukuran Fasad Lantai Atas

SIANG		MALAM	
Pukul	Leq	10 ^Λ (0.1*Leq)	10 ^Λ (0.1*Leq)
06.00 - 07.00	74.2007326	26307117.25	17962568.64
07.00 - 08.00	76.24569134	42127834.34	15859812.04
08.00 - 09.00	76.7393355	47199081.84	22303382.71
09.00 - 10.00	76.86623802	48598604.84	9324698.962
10.00 - 11.00	73.85911471	24317082.68	9597954.962
11.00 - 12.00	74.69420622	29472747.4	7273983.762
12.00 - 13.00	74.25763863	26654090.18	11713470.82
13.00 - 14.00	74.63381003	29065714.48	18946048.32
14.00 - 15.00	72.66727892	18481103.18	112981920.2
15.00 - 16.00	72.45621426	17604408.05	71.49918965
16.00 - 17.00	71.33766004	13607113.38	
17.00 - 18.00	72.36659824	17244866	
18.00 - 19.00	70.94041065	12417697.2	
19.00 - 20.00	71.55080943	14291602.99	
20.00 - 21.00	73.20280452	20906457.62	
21.00 - 22.00	70.89060571	12276104.34	
Total		400571625.8	
Ls = 10 log 1/16		73.985602	

SIANG		MALAM	
Pukul	Leq	10 ^Λ (0.1*Leq)	10 ^Λ (0.1*Leq)
22.00 - 23.00	72.5436844	17962568.64	
23.00 - 00.00	72.0029804	15859812.04	
00.00 - 01.00	73.4837074	22303382.71	
01.00 - 02.00	69.6963482	9324698.962	
02.00 - 03.00	69.8217871	9597954.962	
03.00 - 04.00	68.6177233	7273983.762	
04.00 - 05.00	70.686856	11713470.82	
05.00 - 06.00	72.7751864	18946048.32	
Total		112981920.2	
Lm = 10 log 1/8		71.49918965	

SIANG-MALAM	
Lsm = 10 Log 1/24 (16*10 ^Λ (0.1*Ls) + 8*10 ^Λ (0.1*(Lm+5))))	
74.9937306	

d. Titik Pengukuran Kelas Lantai Bawah

MALAM			
Pukul	Leq	$10^{(0.1 \cdot \text{Leq})}$	
T7	67.6397039	17421744.87	
T8	63.7107274	7050079.131	
T9	63.662742	4648407.544	
Total		29120231.54	
$L_m = 10 \log 1/8$		65.61104837	

SIANG			
Pukul	Leq	$10^{(0.1 \cdot \text{Leq})}$	
T1	66.1504077	12364086.22	
T2	65.6847093	11106882.69	
T3	65.71740334	11190811.7	
T4	65.63276087	10974818.38	
T5	66.75460457	9473063.582	
T6	65.63914091	7327301.915	
Total		62436964.5	
$L_s = 10 \log 1/16$		65.91321798	

SIANG-MALAM			
$L_{sm} = 10 \log 1/24 (16 \cdot 10^{(0.1 \cdot L_s)} + 8 \cdot 10^{(0.1 \cdot (L_m + 5))})$			
		68.0878251	

e. Titik Pengukuran Kelas Lantai Atas

SIANG			
Pukul	Leq	$10^{(0.1 \cdot \text{Leq})}$	
T1	65.3085215	10185290.13	
T2	65.81790179	11452793.6	
T3	69.30656081	25572744.25	
T4	66.95173829	14869456.12	
T5	65.52743187	7141232.668	
T6	65.50305581	7101262.67	
Total		76322779.44	
Ls = 10 log 1/16		66.78534195	

MALAM			
Pukul	Leq	$10^{(0.1 \cdot \text{Leq})}$	
T7	65.0267742	9545499.927	
T8	64.3772318	8219481.82	
T9	68.2373391	13327966.77	
Total		31092948.52	
Lm = 10 log 1/8		65.89571921	

SIANG-MALAM		
$L_{sm} = 10 \log \frac{1}{24} (16 \cdot 10^{(0.1 \cdot L_s)} + 8 \cdot 10^{(0.1 \cdot (L_m + 5))})$		
68.6195067		

f. Kebisingan Siang-Malam (Lsm) Tiap Frekuensi Pada Tiap Titik Pengukuran

SUMBER		FASAD BAWAH		FASAD ATAS	
Frekuensi	dBA	Frekuensi	dB	Frekuensi	dB
Overall	83.00	Overall	76.51	Overall	74.99
31.5	-2.41	31.5	12.48	31.5	19.64
63	28.93	63	37.89	63	34.68
125	48.12	125	41.09	125	41.78
250	59.52	250	52.95	250	50.96
500	67.25	500	60.37	500	58.28
1000	73.00	1000	66.26	1000	65.27
2000	73.90	2000	67.02	2000	64.91
4000	71.04	4000	65.29	4000	62.62
8000	66.30	8000	62.48	8000	60.70
			63.58		61.80

KELAS BAWAH		KELAS ATAS	
Frekuensi	dBA	Frekuensi	dB
Overall	68.09	Overall	68.62
31.5	20.17	31.5	3.89
63	34.90	63	19.10
125	42.10	125	36.23
250	47.63	250	47.07
500	54.85	500	54.36
1000	58.36	1000	59.16
2000	57.26	2000	58.45
4000	54.47	4000	54.85
8000	53.43	8000	53.94
			55.04

3. Penjumlahan Tingkat Tekanan Bunyi (dBA Overall) dari Perhitungan Maekawa

a. Asumsi Sumber dari Tepi Jalan

FASAD BAWAH SINGLE BARRIER TEPI JALAN				
Frekuensi	L Awal	Barrier Attenuation	L Barrier	$10^{(0.1 * L \text{ Barrier})}$
125	57.19	10.67	46.53	44935.23288
250	61.55	13.08	48.47	70356.55183
500	63.57	15.76	47.81	60398.75082
1000	66.26	18.59	47.67	58517.95814
2000	65.82	21.51	44.31	26982.0598
4000	64.29	24.47	39.82	9589.211642
TOTAL				270779.7651
			$10 * \text{LOG(TOTAL)}$	54.32616207
			dB Overall (+4.87)	59.19616207
			dB Overall (-4.19)	55.01

KELAS BAWAH SINGLE BARRIER TEPI JALAN				
Frekuensi	L Barrier	Noise Reduction	L di dalam Kelas	$10^{(0.1 * L \text{ Barrier})}$
125	46.53	-1.01	46.53	44935.23288
250	48.47	5.32	43.15	20646.30091
500	47.81	5.52	42.29	16950.62885
1000	47.67	7.90	39.77	9489.080746
2000	44.31	9.76	34.55	2848.470483
4000	39.82	10.82	28.99	793.1262363
TOTAL				95662.8401
			$10 * \text{LOG(TOTAL)}$	49.8074327
			dB Overall (+4.87)	54.6774327
			dB Overall (-4.19)	50.49

FASAD ATAS DOUBLE BARRIER TEPI JALAN (Atenuasi Tambahan)					
Frekuensi	L Awal	Barrier Attenuation	L Barrier	10^(0.1 * L Barrier)	
125	57.88	9.22	48.66	73462.9594	
250	59.56	11.92	47.64	58087.41431	
500	61.48	14.69	46.79	47776.17168	
1000	65.27	17.44	47.83	60616.13912	
2000	63.71	20.06	43.65	23165.52574	
4000	61.62	22.43	39.19	8302.754619	
TOTAL			271410.9649		
10*LOG(TOTAL)			54.33627389		
dB Overall (+4.87)			59.20627389		
dBA Overall (-4.19)			55.02		

KELAS ATAS SINGLE BARRIER TEPI JALAN				
Frekuensi	L Barrier	Noise Reduction	L di dalam Kelas	10^(0.1 * L Barrier)
125	48.66	5.55	43.11	20455.33548
250	47.64	3.88	43.76	23761.68023
500	46.79	3.92	42.87	19363.29835
1000	47.83	6.11	41.72	14845.40868
2000	43.65	6.47	37.18	5225.974558
4000	39.19	7.77	31.42	1387.045577
TOTAL		85038.74289		
10*LOG(TOTAL)		49.29616831		
dB Overall (+4.87)		54.16616831		
dBA Overall (-4.19)		49.98		

4. Data Hasil Pengukuran dan *File* Simulasi COMSOL v4.4
 - a. **Unduh Hasil Pengukuran Kebisingan**
<http://bit.ly/2a2CVaO> (*Link 1*)
atau
<http://bit.ly/2a2CaP2> (*Link 2*)
 - b. **Unduh *File* Simulasi (.mph)**
<http://bit.ly/2akVeKz> (*Link 1*)
atau
<http://bit.ly/29TyxOf> (*Link 2*)
5. Data *Export* Nilai TTB Hasil Simulasi
 - a. **Unduh Data TTB Grafik *Trendline* Simulasi**
<http://bit.ly/2ahEPVt> (*Link 1*)
atau
<http://bit.ly/2aEDICQ> (*Link 2*)
 - b. **Unduh Data TTB Rata-rata Zona Evaluasi Simulasi**
<http://bit.ly/2azZ1UX> (*Link 1*)
atau
<http://bit.ly/2aouZTn> (*Link 2*)

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis data yang telah dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Nilai Tingkat Kebisingan di Sekolah Dasar Negeri Siwalankerto I akibat lalu lintas jalan Ahmad Yani adalah sebesar 68,09 dBA untuk kelas lantai bawah dan 68,62 dBA untuk kelas lantai atas. Tingkat Kebisingan pada kedua kelas tersebut masih belum memenuhi standar nilai baku tingkat kebisingan sesuai Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 48/MENLH/11/1996, yaitu sebesar ≤ 55 dBA.
- Desain pengendalian bising yang diperoleh dari penelitian ini adalah:
 - Desain penghalang bising dari perhitungan Maekawa dengan ketinggian penghalang setinggi 2,2 meter dengan nilai *barrier attenuation* total sebesar 18,63 dB untuk kelas lantai bawah dan 17,44 dB untuk kelas lantai atas pada frekuensi 1000 Hz. Desain penghalang bising dapat menekan kebisingan hingga menjadi 50,49 dBA untuk kelas lantai bawah dan 49,98 dBA untuk kelas lantai bawah.
 - Desain penghalang bising dari simulasi 2D dengan *barrier* utama lebih rendah setinggi 1,8 meter dan penambahan *screen* pada bagian fasad bangunan sekolah. *Screen* pada fasad lantai atas menutupi keseluruhan jendela kelas dan *screen* pada fasad lantai bawah menutupi setengah tinggi bingkai jendela kelas. Diperoleh nilai *barrier attenuation* total sebesar 9,61 dB untuk kelas lantai bawah dan 10,28 dB untuk kelas lantai atas pada frekuensi 1000 Hz.

- Penambahan *screen* pada fasad bangunan dapat meningkatkan *barrier attenuation* sebesar 2,81 dB untuk kelas lantai bawah dan 0,98 dB untuk kelas lantai atas pada frekuensi 1000 Hz.
- Desain penghalang bising sebagai tempat berteduh (*shelter*) dapat meningkatkan nilai *barrier attenuation* untuk kelas lantai bawah hingga sebesar 9,98 dB pada frekuensi 1000 Hz. Untuk kelas lantai atas hanya diperoleh nilai *barrier attenuation* sebesar 3,16 dB, sehingga masih memerlukan penambahan *screen*.

5.1 Saran

Jika akan dilakukan penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan tugas akhir ini, penulis menyarankan beberapa poin berikut:

- Menyempurnakan simulasi 2D dengan menambahkan parameter tekanan udara, densitas, dan suhu yang berubah terhadap ketinggian lokasi dari permukaan laut (tidak diasumsikan homogen pada setiap titik). Memperbaiki persamaan propagasi suara pada simulasi agar diperoleh hasil yang lebih akurat.
- Melakukan evaluasi kebisingan lalu lintas dengan asumsi sumber garis (divergensi silindris) agar diperoleh hasil yang lebih merepresentasikan kondisi sesungguhnya.
- Melakukan evaluasi terhadap desain penghalang bising apabila diberi panel akustik yang bersifat menyerap suara/*absorber*.
- Melakukan simulasi menggunakan metode *Finite Element Method* (FEM) jika ingin mengamati bagaimana bahan dari penghalang bising menyerap dan melewati suara.
- Melakukan simulasi secara 3 dimensi (3D), sehingga komputasi dapat lebih mendekati kondisi sesungguhnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonymous. (1995).** Environmental Barriers: Technical Requirements. In Anonymous, *Design Manual for Roads and Bridges* (Vol. 10, pp. 66-95). Scotland, Ireland: A Government Departement in Northern Ireland.
- Anonymous. (1998).** *Technical Noise Supplement*. (J. Gilster, D. Karnopp, & K. Jones, Eds.) California: California Departement of Transportation.
- Anonymous. (2003).** *Guidelines on Design of Noise Barriers*. Hong Kong: Highways Departement, Government of the Hong Kong SAR.
- Bendsten, H. (2010).** *Noise Barrier Design: Danish and Some European Examples*. California: The Danish Road Institute, University of California Pavement Research Center.
- Brown, L. (1979).** Gangguan Badan Disebabkan Kebisingan Lalu Lintas Jalan Raya. *University of Queensland*.
- Fard, S. M., Kessissoglou, N., Samuels, S., & Burgess, M. (2013, November 17-20).** Numerical Study of Noise Barrier Design. *Proceedings of Acoustics*.
- FHWA. (1978).** *Noise Barrier Design Handbook*.
- Foss, R. N. (1975).** *Noise Barrier Screen Measurements*.
- Grubesa, S., Domitrovic, H., & Jambrosic, K. (2011).** Performance of Traffic Noise Barriers with Varying Cross Section. *Traffic & Transportation*, 23, 161-168.
- Klingner, R. E., Busch-Vishniac, I., McNerney, M. T., Ho, S., & Peron, R. (1996).** *Effective Noise Barrier Solutions For TxDOT: A First-Year Progress Report*.

Austin: Center For Transportation Research, The University of Texas at Austin.

Kusumaaatmadja, S. (1996). *Patent No. KEP-48/MENLH/11/1996.* Indonesia.

Lamancusa, J.S. (2009). *Noise Control.*

M.B. Fard, S., Kessissoglou, N., Samuels, S., & Burgess, M. (2013). Numerical Studies of Noise Barrier Designs. *Proceedings of Acoustics.*

Mayangsari, A. P., Rahmadiansah, A., & Dhanardono, T. (n.d.). Perancangan Barrier Untuk Menurunkan Tingkat Kebisingan Pada Jalur Rel Kereta Api Di Jalan Ambengan Surabaya Dengan Menggunakan Metode Nomograph. *POMITS.*

Oldham, D. J., & Egan, C. A. (2011). A parametric investigation of the performance of T-profiled highway noise barriers and the identification of a potential predictive approach. *Applied Acoustics*, 72, 803-813.

Pawestri, T. A., N., S. N., & Antaryama, I. G. (n.d.). (2011). Pengaruh Lay Out Bangunan Pada Pereduksian Bising Dalam Ruang Kelas Sekolah Dasar di Surabaya. *POMITS.*

Pigasse, G., & Kragh, J. (2011). *Optimised Noise Barriers.* Danish: Vejdirektoratet.

Saliunas, D., & Volkovas, V. (2015). Investigation of noise barriers enhancement efficiency for attenuation of low frequency traffic noise. *MECHANIKA*, 56-63.

Smyrnova, Y., Kang, J., Blackford, C., & Cheal, C. (2012). Diffusion coefficient of vegetation: measurements and simulation. *Proceedings of the Acoustics*, 4089-4095.

Smyrnova, Y., Kang, J., Cheal, C., Tijs, E., & Bree, H.-E. d. (2010). Laboratory Test of Sound Absorption of Vegetation. *Congress on Sound and Vibration*.

Volkovas, V., & Saliunas, D. (2015). Investigation of noise barriers enhancement efficiency for attenuation of low frequency traffic noise. *MECHANIKA*, 21.

Winarno, F. A., Dhanardono, T., & Asmoro, W. A. (2015). Pengendalian Tingkat Kebisingan Akibat Lalu Lintas Di SMAN 5 Surabaya. *POMITS*.

“Halaman ini memang dikosongkan”.



BIODATA PENULIS REVA GIRINDRA ARIYADI

Saya adalah anak pertama dari dua bersaudara. Saya lahir di Bontang, 2 Juni 1994. Saya menempuh pendidikan formal di SDN Kepanjen 2 Jombang, SMPN 2 Jombang, SMAN 2 Jombang, kemudian Teknik Fisika FTI ITS sebagai mahasiswa angkatan 2012.

Saya memulai kegiatan organisasi dengan membentuk sendiri komunitas film dan iklan bernama GSM Production. Selama masa perkuliahan, komunitas saya telah memenangkan banyak penghargaan dalam bidang film independen maupun lomba iklan TV. Ilmu teknik fisika terbukti telah membantu saya memahami lebih dalam mengenai teknologi perfilman dari sudut pandang keteknikan. Saya mulai bergabung di Laboratorium Vibrastic sebagai member pada tahun kedua dan mulai aktif beraktivitas di lab mulai tahun ketiga. Lab telah memberikan banyak pelajaran mengenai kebersamaan, kerja sama, dan arti kerja keras. Akhir kata, *Vibrate Vigorously, Sound in Harmony*.

Pembaca dapat menghubungi saya melalui reva.gsmproduction@gmail.com

Terima kasih. Wassalamu'alaikum wr. wb